



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي  
Université Echahid Hamma Lakhdar -El OUED  
كلية علوم الطبيعة والحياة  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
قسم العلوم الفلاحية  
Département des sciences agricoles



## MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en sciences agronomiques

Spécialité : production végétale

### THÈME

**Étude de fiabilité de la technique de traitement des  
eaux usées pour des raisons agricoles dans la région  
d'El-Oued**

Présenté par :

**M. BENDJERBA Ahmed Rami**

**M. SAIGHI Tahar**

Devant le jury composé de :

Présidente : Dr HADEF L

Examinatrice : BOUKHTACHE N

Promotrice : SERRAYE A

M.C.A, Université d'el oued

M.C.B, Université d'el oued

M.A.A, Université d'el oued

Année universitaire 2021/2022

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère Nadia REMILI*

*À mon père Abderrahim, école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger.*

*Que dieu les gardes et les protège.*

*À mon frère : Abdelilah*

*À mes adorables sœurs : Wissal, Ibtihal et Lodjaine*

*À mes amies.*

*À tous ceux que j'aime.*

*Je dédie ce travail.*

*Ahmed Rami*

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère Dalila DERDOURI*

*À mon père Omar, école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger.*

*Que dieu les garde et les protège.*

*À mon frère : Abdelhamid*

*À mon adorable sœur : Samra*

*À mon amie Haithem.*

*À tous ceux que j'aime.*

*Je dédie ce travail.*

*Tahar*

## *Remerciements*

*Nous remercions tout d'abord Allah tout puissant, de nous avoir donné le courage, la patience et la chance d'étudier et de suivre le chemin de la science.*

*Nous remercions en premier lieu Dr. SERRAYE Aicha notre promotrice pour nous avoir donné l'occasion de diriger ce mémoire de fin d'étude tout le long de sa réalisation.*

*Nos remerciements également la Présidente du jury HADEF Layla, et Mme. BOUKHETACHE Nawal, examinatrice du jury, pour avoir accepté de juger et d'examiner notre travail scientifique.*

*Nous remercions aussi tous les membres de la faculté des sciences de la nature et de la vie.*

*Nous remercions infiniment tous les laboratoires d'analyses qui nous aide à analyser notre échantillon de recherche*

*Nous remercions enfin toute personne de près ou de loin ayant généreusement contribué à l'élaboration de ce travail.*

## الملخص

إن ندرة المياه أدى إلى البحث عن طرق أخرى تهدف إلى الرفع من الموارد المائية في الجزائر. نظرا للاستعمال غير العقلاني للمياه الجوفية في ولاية الوادي أصبحت إعادة استعمال مياه الصرف المعالجة أكثر أهمية من أجل خلق اقتصاد مستدام في المنطقة.

الهدف من هذا البحث العلمي هو دراسة فعالية المعالجة بالبحيرات الهوائية فيما يخص جودة المياه العادمة، مع التركيز على تأثير الري بهذه المياه على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة . ودراسة مدى موثوقية هذه التقنية لغرض استغلال مياه الصرف الصحي المعالجة في القطاع الزراعي بدلا من المياه الجوفية بولاية الوادي.

لتنفيذ الدراسة، قمنا بتحليل مياه الصرف الصحي الخام ومياه الصرف الصحي المعالجة ومياه السقي الجوفية والتربة الرملية على أعماق مختلفة. استنتجنا من البحث أن مياه الصرف المعالجة ذات درجة ملوحة عالية يمكن أن تؤثر سلبا على التربة المسقية أبرزها هذه الأملاح  $\text{HCO}_3^- \text{Cl}^- \text{SO}_4 \text{Na}^+$ .

**الكلمات المفتاحية:** ولاية الوادي، ندرة المياه، مياه الصرف الصحي المعالجة، التربة الرملية، آثار إعادة الاستخدام.

## Résumé :

La rareté d'eau en Algérie conduit à la recherche des nouvelles sources d'eau comme bonne alternative. À la suite de l'utilisation irrationnelle des eaux souterraines à El-Oued, la réutilisation des eaux usées traitées devienne de plus en plus importante afin de créer une économie durable dans la gestion eau dans la wilaya.

L'objectif de cette recherche est d'étudier l'efficacité du lagunage aéré comme technique de traitement d'eaux usées adopté à la wilaya d'El-Oued. On a examiné l'effet de sa réutilisation sur les propriétés physico-chimiques du sol. On a aussi étudié la fiabilité de cette technique dans le but d'exploiter les eaux usées traitées dans le secteur agricole au lieu des eaux souterraines.

Pour réaliser ce travail, on a analysé : les eaux usées, l'eau de forage et le sol sableux irrigué par ces eaux à différentes profondeurs. Nous avons conclu que les eaux usées traitées a un degré élevé de salinité qui peut affecter négativement le sol agricole, les sels les plus importants sont  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ .

**Mots clés :** wilaya d'El-Oued, pénurie d'eau, eaux usées traitées, sol sableux, effets de la réutilisation.

## Abstract:

Water scarcity in Algeria leads to looking for a new water sources as a good alternative. Following the irrational use of groundwater in El-Oued, the treated wastewater reuse is becoming increasingly important to create a sustainable economy in water management in the wilaya.

The objective of this research is to study the effectiveness of aerated lagoon as a system of wastewater treatment adopted in El-Oued wilaya. The effect of its reuse on soil properties was examined. The reliability of this technique has also been studied for the purpose of exploiting treated wastewater in agriculture instead of groundwater.

To carry out this work, the wastewater, the drilling water, and the irrigated sandy soil with different depths were analyzed. We concluded that treated wastewater has a high degree of salinity which can negatively affect the agricultural soil, the most danger sels are :  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ .

**Keywords:** El-Oued wilaya, water shortage, treated wastewater, sandy soil, impact of reuse.

## Liste des figures

Figure 1: eaux souterraines dans la wilaya d'El-Oued(Kadri & Chaouche, 2018).....	4
Figure 2: glaciers dans les massifs montagneux des Alpes(ASCD, 2004).....	4
Figure 3: Répartition des barrages en Algérie(Remini et al., 2009).....	6
Figure 4: station dessalement de l'eau de mer(Christophe, 2018).....	7
Figure 5: station déminéralisation des eaux dans la wilaya d'El-Oued(ZAIDI, 2019).....	8
Figure 6: station de traitement des eaux résiduaires urbaines de Doha(West, 2010).....	10
Figure 7: Modes de traitement des eaux usées en France (Henri et al., 2004).....	12
Figure 8: Mécanisme général d'absorption pour éliminer les contaminant(Rashid et al., 2021).....	17
Figure 9: Technique d'osmose inverse pour le traitement des eaux usées(OSMEO, 2019).....	17
Figure 10: Filtre à membrane(Trevi, 2020).....	18
Figure 11 bassins artificiels imperméabilisés dans le système de lagunage aéré(ONA, 2021).....	42
Figure 12: Plan général de la station de kouinine(ONA, 2021).....	43
Figure 13: réseaux d'assainissement dans la wilaya el oued(ONA, 2021).....	44
Figure 14: Localisation de la Wilaya d'El Oued(Wikipedia, 2019).....	48
Figure 15: Concentration de Na <sup>+</sup> dans les deux types d'irrigation dans le sol.....	57
Figure 16: Concentration de HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> dans les deux types d'irrigation dans le sol.....	58
Figure 17: Concentration de Mg <sup>2+</sup> dans les deux types d'irrigation dans le sol.....	59
Figure 18: Concentration de Ca <sup>+</sup> dans les deux types d'irrigation dans le sol.....	60
Figure 19: Concentration de K <sup>+</sup> dans les deux types d'irrigation dans le sol.....	61
Figure 20: Concentration de Cl <sup>-</sup> dans les deux types d'irrigation dans le sol.....	61
Figure 21: Concentration de SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> dans les deux types d'irrigation dans le sol.....	62
Figure 22: Concentration de PO <sub>4</sub> dans les deux types d'irrigation dans le sol.....	63
Figure 23 Concentration de NH <sub>4</sub> dans les deux types d'irrigation dans le sol.....	64
Figure 24: Concentration de TDS dans les deux types d'irrigation dans le sol.....	64
Figure 25: concentration de pH dans les deux types d'irrigation dans le sol.....	65
Figure 26: concentration de conductivité électrique dans les deux types d'irrigation dans le sol.....	65
Figure 27: Concentration de SAR dans les deux types d'irrigation dans le sol.....	66
Figure 28: Concentration moyenne de pH dans les trois types de l'eau.....	67
Figure 29: Concentration moyenne de conductivité électrique dans les trois types d'eau.....	68
Figure 30: Concentration moyenne de SAR dans les trois types d'eau.....	68
Figure 31: Concentration moyenne de TDS dans les trois types d'eau.....	69
Figure 32: Concentration moyenne de Salinité dans les trois types d'eau.....	69
Figure 33: Concentration moyenne de Na <sup>+</sup> dans les trois types d'eau.....	70
Figure 34: Concentration moyenne de Mg <sup>+2</sup> dans les trois types d'eau.....	70
Figure 35: Concentration moyenne de Ca <sup>+</sup> dans les trois types d'eau.....	71
Figure 36: Concentration moyenne de Cl <sup>-</sup> dans les trois types d'eau.....	71
Figure 37: Concentration moyenne de TH dans les trois types d'eau.....	72
Figure 38: Concentration moyenne de NH <sub>4</sub> dans les trois types d'eau.....	72
Figure 39: Concentration moyenne de HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> dans les trois types d'eau.....	73
Figure 40: Concentration moyenne de K <sup>+</sup> dans les trois types d'eau.....	73
Figure 41: Concentration moyenne de SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> dans les trois types d'eau.....	74
Figure 42: Concentration moyenne de PO <sub>4</sub> dans les trois types d'eau.....	74
Figure 43: Concentration moyenne de TP dans les deux types d'eau.....	75
Figure 44: Concentration moyenne de MES dans les deux types d'eau.....	75
Figure 45: Concentration moyenne de OD dans les deux types d'eau.....	76
Figure 46: Concentration moyenne de DCO dans les deux types d'eau.....	76
Figure 47: Concentration moyenne de DBO <sub>5</sub> dans les deux types d'eau.....	77

## Liste de photos

Photo1 : eaux analysées : eaux usée non traitée, eaux usée traitée et eau de forage.....	49
Photo 2 Prélèvement des échantillons de sol selon différentes profondeurs.....	50
Photo3: Étiquetage, stockage et conservation des échantillons de sol.....	50
Photo4: Zone d'échantillonnage .....	51
Photo5: pH-mètre et températureutilisé dans les analyses .....	53
Photo6: Conductimètreutilisé dans les analyses.....	53
Photo7: Spectrophotomètre UV-Visibleutilisé dans les analyses .....	53
Photo8: Spectrophotomètre à flammesutilisé dans les analyses .....	53
Photo9: filtration des solutions du sol analysé .....	54

# Liste des tableaux

Tableau 1: les bénéfices et inconvénients de réutilisation des eaux usées(Lazarova & Brissaud, 2003).	14
Tableau 2: Standards algériennes microbiologiques de réutilisation des eaux usées en irrigation(Arrêté Interministériel, 2012).....	20
Tableau:Standards Algériennes physico chimique de réutilisation des eaux usées(Arrêté Interministériel, 2012).....	21
Tableau 4la qualité de l'eau de récupération et usage et méthode d'irrigation agricoles autorisés(Europ et al., 2020).....	22
Tableau 5: exigences de qualité applicables de l'eau usée traitée destinée à l'irrigation agricole(Europ et al., 2020).....	23
Tableau 6: Surveillance de validation de l'eau de récupération destinée à l'irrigation agricole(Europ et al., 2020).....	24
Tableau 7: exigences bactériologiques marocaines pour l'irrigation avec les l'eaux usées traitées(Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, 2007). ....	25
Tableau 8: norme marocaine des paramètres parasitologiquespour l'irrigation avec les l'eaux usées traitées(Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, 2007). ....	25
Tableau 9: valeurs limites des éléments trace métalliques dans les eaux usées traitées pour l'irrigation(Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, 2007).....	25
Tableau 10: normes marocaines des paramètres physico chimiques (Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, 2007).....	26
Tableau 11: valeurs limites des paramètres des eaux usées en mg/l(Berglund & Claesson, 2010) .....	27
Tableau 12: valeurs limites de Cd, Cu, Pb et Zn dans les eaux usées traitées et leur effet sur les plantes(Berglund & Claesson, 2010).....	27
Tableau 13: La qualité des différentes classes d'eaux usées urbaines(Radcliffe, 2019).....	28
Tableau 14: Paramètres physico-chimiques de réutilisation d'eau usée traitée en irrigation en Arabie Saoudite(Alkhudhiri et al., 2019) .....	29
Tableau 15: les dégâts causés par les agents pathogènes des eaux usées sur la santé(Caroline, 2008; INRS, 2022; McClane, 2014; Nierenberg, 2011).....	35

# SOMMAIRE

INTRODUCTION GÉNÉRALE .....	a
-----------------------------	---

## PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

### CHAPITRE I Gestion actuelle des eaux fraîches et des eaux usées traitées

Introduction .....	2
I.1 L'orientation vers des ressources alternatives d'eau .....	3
I.2) Différents types d'eaux conventionnelles .....	3
I.2.1 Les eaux souterraines .....	3
I.2.2 Les eaux superficielles .....	4
I.2.2.1 Les glaciers .....	4
I.2.2.2 Les précipitations .....	5
I.2.2.2.1 Barrages de stockage d'eau de précipitations en Algérie .....	5
I.3) Différents types d'eaux non conventionnelles .....	6
I.3.1 L'eau de mer dessalée .....	6
I.3.2 Les eaux saumâtres déminéralisées .....	7
I.3.3 Les eaux usées traitées .....	8
I.3.3.1 Usage agricole des eaux usées traitées .....	8
I.3.3.2 Usage urbain des eaux usées traitées .....	9
I.3.3.3 Usage industriel des eaux usées traitées .....	9
I.4) Réutilisation des eaux usées traitées .....	9
I.4.1 Réutilisation dans les pays en développement .....	9
I.4.1.1 Tunisie .....	9
I.4.1.2 Arabie Saoudite .....	10
I.4.1.3 Qatar .....	10
I.4.1.4 Koweït .....	11
I.4.1.5 Burkina Faso .....	11
I.4.1.6 Chine et en Inde .....	11
I.4.2 Réutilisation dans les pays développés .....	11
I.4.2.1 États-Unis .....	11
I.4.2.2 France .....	12
I.4.2.3 Pays occupé .....	13
I.4.2.4 Australie .....	13
I.4.2.5 Grèce .....	13
I.5) Bénéfiques et inconvénients de réutilisation des eaux usées .....	13
I.6) Meilleures techniques de traitement des eaux usées pour des raisons agricoles .....	16
I.6.1 Technique de l'adsorption .....	16
I.6.2 Technique de l'osmose inverse .....	17
I.6.3 Technique de rayons ultraviolets (UV) .....	18

I.6.4	Technique de filtration membranaire .....	18
I.7	Défis de l'irrigation par eaux usées traitées .....	19
I.7.1	Défis économiques .....	19
I.7.2	Défis sociaux .....	19
I.7.3	Défis sanitaires .....	19
I.7.4	Défis juridiques .....	19
I.8	Normes nationale et internationales pour la réutilisation des eaux usées : .....	20
I.8.1	Normes nationales .....	20
I.8.2	Normes internationales .....	22
I.8.2.1	Union européenne .....	22
I.8.2.2	Maroc .....	25
I.8.2.3	Tunisie .....	27
I.8.2.4	Australie .....	28
I.8.2.5	Arabie Saoudite .....	29
I.9	Potentiel des eaux usées traitées dans l'Algérie et dans la wilaya d'El-Oued .....	30
I.10	Réutilisation des eaux usée en Algérie .....	30
I.10.1	Réutilisation agricole .....	30
I.10.2	Réutilisation municipale .....	31
I.10.3	Réutilisation industrielle .....	31
I.11	Impact d'irrigation par eaux usées traitées sur le sol .....	31
I.11.1	Impact positifs .....	31
I.11.2	Impact négative .....	32
I.11.2.1	Salinisation .....	32
I.11.2.2	Accumulation de métaux lourds .....	33
I.11.2.3	Contamination microbienne .....	33
Conclusion	.....	36

## **CHAPITRE II Gestion des eaux usées traitées dans la wilaya d'el-oued**

Introduction	.....	39
II.1	Techniques locale de traitement des eaux usées .....	40
II.1.1	Prétraitement .....	40
II.1.1.1	Dégrillage .....	40
II.1.1.2	Dessablage et déshuilage .....	40
II.1.2	Traitement primaire (traitement physique) .....	41
II.1.3	Traitement secondaire (épuration biologique) .....	41
II.2	Station de traitement des eaux usées à El-Oued .....	43
II.3	Défis et problèmes rencontrés dans le traitement des eaux usées .....	44
II.3.1	Réseau d'assainissement .....	44

<b>II.3.2 Stations d'épuration .....</b>	<b>45</b>
<b>II.3.3 Drainage .....</b>	<b>45</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>46</b>

## **PARTIE PRATIQUE**

### **Matériel et méthodes**

<b>I.1 Présentation de la région d'étude .....</b>	<b>48</b>
<b>I.1.1 Climat de la région d'étude .....</b>	<b>48</b>
<b>I.1.2 Caractères pédologiques.....</b>	<b>49</b>
<b>I.1.3 Hydrogéologie.....</b>	<b>49</b>
<b>I.2 Méthode d'échantillonnage.....</b>	<b>49</b>
<b>I.2.1 Eau.....</b>	<b>49</b>
<b>I.2.2 Sol .....</b>	<b>50</b>
<b>I.3 Choix de zone d'échantillonnage .....</b>	<b>51</b>
<b>I.4 Matériel Utilisé.....</b>	<b>52</b>
<b>I.4.1 Analyse de sol .....</b>	<b>52</b>
<b>I.4.2 Analyse de l'eau.....</b>	<b>52</b>
<b>I.5 Analyses d'eau et de sol.....</b>	<b>54</b>
<b>II.1 Résultats d'analyse de sol .....</b>	<b>56</b>
<b>II.2 Résultats d'analyse d'eau .....</b>	<b>67</b>
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>80</b>
<b>Recommandations .....</b>	<b>81</b>
<b>Références .....</b>	<b>83</b>

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'Algérie est caractérisée par son climat semi-aride à aride. Le pays souffre autant de la carence des pluies que de leur mauvaise répartition dans le temps et dans l'espace. Les contraintes du climat, la croissance démographique et les transformations économiques et sociales sont à l'origine d'une demande d'eau qui ne cesse pas d'augmenter. Parallèlement, le recours à l'irrigation est devenu une nécessité, étant donné l'importance du déficit hydrique et l'intensification de l'agriculture. Or, face à ces demandes, les ressources en eau sont rares et insuffisantes pour combler le manque (Rouibah and Belabbas, 2022).

Par conséquent la recherche des moyens plus efficaces pour aller de l'avant et améliorer le rendement agricole par le gouvernement Algérien, l'utilisation des eaux usées traitées en irrigation est devenue une nécessité et fait partie intégrante de la stratégie actuelle de mobilisation de toutes ressources nationales disponibles (Touil et al., 2020).

En effet, l'usage des eaux non conventionnelles est conditionné par des réglementations strictes. L'application de réglementations ou de normes devient indispensable sinon obligatoire pour réduire et prévenir la pollution de sol ou de l'eau. Dans nos jours les traitements existants peuvent réduire les concentrations des polluants à des niveaux limites non dangereux et permettre l'obtention d'une eau de meilleure qualité (Haidara et al., 2022).

Les stations d'épuration des eaux usées sont projetées et planifiées pour répondre aux normes requises pour l'élimination des solides en suspension et des agents pathogènes qui sont définis comme des paramètres conventionnels (Taylor et al., 2011).

Ainsi, il est nécessaire de développer perpétuellement et mettre en œuvre de nouvelles technologies efficaces et simples pour générer les eaux usées en offrant des processus et des méthodologies durables. Tout ça est pour répondre aux exigences de récupération d'eau et répondre aux attentes de croissance démographique, de santé publique, de sécurité au travail, de protection de l'environnement et de valeurs sociétales (Abdelazim M. Negm, El-Sayed E. Omran, 2019).

De nombreuses techniques conventionnelles telles que la précipitation, la séparation à base de membranes, la coagulation chimique, la photo dégradation, l'échange d'ions et la floculation ont été utilisées pour éliminer les agents toxiques des eaux usées. Bien que ces procédés précités se sont révélés être des procédés efficaces, mais le coût initial et opérationnel est trop élevé (Pankaj et al., 2018).

Au contraire, certaines méthodes de traitement biologique des eaux usées ne nécessitent pas de coûts élevés, ce qui en fait une alternative appropriée pour les pays à faible revenu, car la plupart des régions de ces pays manquent de financement budgétaire local suffisant. Ainsi, les systèmes avec un investissement de construction inférieur et des problèmes techniques plus faciles peuvent donner un acceptable résultat de traitement (Mannina et al., 2019).

Les lagunes aérées sont des systèmes de croissance aérobie en suspension qui, en raison de leur grande tolérance aux charges soudaines et de leur facilité de construction, sont appliqués pour le traitement des eaux usées industrielles et municipales. Ces systèmes, qui ont une flexibilité importante, sont préférables à d'autres voies de boues activées, et sont considérés comme un bon choix dans les pays développés et en développement (Godini et al., 2021).

En outre, ces traitements non seulement minimisent les négatives impacts sur l'environnement, mais peuvent également être utilisés à des fins d'irrigation et à des fins qui ne nécessitent pas l'eau potable (par exemple, activités récréatives, utilisations industrielles, recharge d'aquifères, lutte contre les incendies, aquaculture, usages domestiques, etc.) (Negm and Chenchouni, 2020).

Selon (Touil et al., 2020), les eaux usées traitées peuvent être utilisé pour l'irrigation dans des conditions bien contrôlées, entre autres pour minimiser la présence résiduelle de micro-organismes pathogènes dans les produits agricoles et pour protéger les propriétés du sol et des eaux souterraines d'une grande variété de polluants comme par exemple, les sels, les métaux lourds, les composés organiques, bactéries entériques et virus.

De nombreuses recherches ont abordé cette question cruciale d'efficacité de traitement des eaux usées, en particulier dans la région méditerranéenne où le changement climatique affecte fortement les ressources en eau. Ces régions sont considérées comme particulièrement vulnérables à la pénurie aiguë d'eau dans les années à venir (Elmeddahi et al., 2016).

La valorisation agricole des eaux usées est une démarche de plus en plus intégrée dans les politiques de gestion des ressources en eau. Les études scientifiques démontrent qu'un traitement efficace des eaux usées permet de les rendre tout à fait conformes aux normes relatives aux eaux d'irrigation, normes qui par ailleurs sont souvent drastiques (Sou, 2009).

D'après (Odoemena et al., 2020), L'utilisation avancée des eaux usées dans les systèmes d'irrigation des cultures a été massivement explorée au cours des deux dernières décennies, principalement en raison de la simplicité de leur disponibilité. De plus, les eaux usées contiennent des suppléments qui peuvent favoriser le développement racinaire et diminuer l'utilisation de compost synthétique. Pour cela la gestion et le traitement des eaux usées doit être innovées davantage pour répondre aux demandes croissantes en termes de quantité et de qualité.

L'objectif de cette recherche scientifique est d'étudier l'efficacité de traitement par lagunage aéré sur la qualité des eaux usées avec un focus sur l'impact d'irrigation par ces eaux sur les caractéristiques physico-chimique des sols. Donc jeter un œil sur la fiabilité de cette technique dans le but de l'exploitation des eaux usées traitées dans le secteur agricole de la wilaya d'El-Oued.

Pour effectuer ce travail, il a fallu entreprendre plusieurs sorties de terrain afin d'approfondir nos connaissances sur le cadre naturel de la zone d'étude et sur les différentes composantes du système de gestion des eaux usées mis en place, et pour effectuer, aussi, les prélèvements d'échantillons d'analyse.

Sur le plan bibliographique, l'établissement de ce travail s'est appuyé sur l'exploitation des ressententes travaux scientifiques réalisés sur **la réutilisation des eaux usées traitées au niveau national et international et leur l'impact sur le sol.**

La première partie bibliographique est présentée en deux chapitres comme suit :

- La gestion actuelle des eaux usées traitées.
- La gestion des eaux usées traitées dans la wilaya d'El-Oued

La deuxième partie est réservée à l'étude expérimentale qui décrit les méthodes d'approche utilisées et les résultats obtenus, ainsi que leur discussion.

# CHAPITRE I

Gestion actuelle des eaux  
fraîches et des eaux usées  
traitées

## **Introduction**

La gestion des ressources en eau est la clé magique de la planification et de la stratégie nationale des ressources en eau. En raison des pressions sociales et environnementales, la surexploitation des eaux souterraines en raison de la croissance démographique, des activités industrielles et agricoles émergentes rend l'efficacité de la planification plus compliquée (Rahmani SE, 2017).

Selon (Lee et al., 2016), les effets anthropiques comme le rejet des déchets municipaux et les activités agricoles et industrielles jouent un rôle majeur dans la détermination de la qualité des eaux de surface dans une région donnée, et l'application de réglementations ou de normes devient indispensable, voire obligatoire, pour réduire et prévenir la pollution. De nos jours, les traitements existants peuvent réduire les concentrations de polluants à des niveaux non dangereux et permettre d'obtenir une eau de meilleure qualité à partir des eaux usées, grâce aux procédés de traitement existants. Le traitement et l'élimination des eaux usées non seulement minimisent les impacts sur l'environnement, mais peuvent également être utilisés à des fins d'irrigation et pour des utilisations qui ne nécessitent pas d'eau potable.

L'eau aide à faire pousser les plantes et contient 20 à 50 % du corps végétal mature. Dans cette étude, la relation sol-eau est étudiée sous différentes eaux d'irrigation. Dans El-Oued, on trouve principalement des sols sableux grossiers (Pankaj et al., 2018).

Ce chapitre contient des identifications et des informations sur le plan national et international à propos des eaux usées traitées, leurs réutilisations, leur état d'exploitation et leur impacts étudiés récemment d'après les nouvelles recherches scientifiques dans différents pays et surtout les pays qui souffrent de déficit des ressources hydrique.

## **I. L'orientation vers des ressources alternatives d'eau**

Le problème de la ressource en eau en Algérie est lié principalement à l'érosion des sols ; au stockage ; dépôt de sédiments et à la qualité des eaux. Le pays a essayé d'extraire l'eau depuis différentes sources naturelles ou artificiels, aussi de type conventionnelle ou non conventionnelle (Kettab, 2020).

### **I.2) Différents types d'eaux conventionnelles**

L'Algérie est un pays semi-aride, et même aride (200 à 400mm/an). Ces ressources en eau sont faibles, irrégulières, et localisées dans la bande côtière, l'apport total des précipitations serait de l'ordre 100 milliards de m<sup>3</sup> d'eau par an dont 12.4 milliards de m<sup>3</sup> en écoulements superficiels, et seuls 6 milliards de m<sup>3</sup> sont mobilisables en tenant compte des sites favorables techniquement (Hydrologie, topographie, géologie) (Kettab, 2001).

Les eaux traditionnelles (conventionnelles) peuvent être :

#### **I.2.1 Les eaux souterraines**

Elle présente une source spécifique et privilégiée d'approvisionnement en eau. Leur usage permet et de mettre un poids intéressant relatif dans l'économie de l'eau. En addition, leur utilisation présente un volet très important sur le plan socio-économique. Elle a des caractéristiques particulières concernant le volume d'eau offrir par rapport aux eaux de surface. Ces qualités conditionnent fortement le recours à l'eau souterraine comme source d'approvisionnement (MARGAT et al., 2007).

On constate que leur teneur en nitrates augmente jusqu'à dépasser il y a une dizaine d'années les normes de potabilité. On prendra comme exemple le bassin du Chlef, de Sidi Bel Abbas et du Mazafran (Boudjadja and Pauc, 2003).

Ces ressources sont évaluées à 1.8 milliards de m<sup>3</sup> dans le Nord de l'Algérie. Les potentialités du Sud sont estimées à 60000 milliards de m<sup>3</sup>. Ces dernières sont difficilement exploitables et renouvelables; et 4 à 5 milliards de m<sup>3</sup> sont exploitables annuellement (Kettab, 2001).

Du point de vue ressources en eaux souterraines, la wilaya d'El-Oued se caractérise par trois nappes à savoir : la nappe phréatique, la nappes du complexe terminal (CT) et la nappe du continental intercalaire. En 2006, un bilan a été établi par les services d'hydraulique d'El-Oued, dont l'état de potentialités annuelles des ressources en eaux souterraines été 4900 HM<sup>3</sup> avec une utilisation de 730HM<sup>3</sup>, 633 HM<sup>3</sup> (87.56% de volume totale) est pour l'agriculture. La superficie totale irriguée par les eaux souterraines est de 51456 ha (Giahs, n.d.).

La nappe du complexe terminal (CT) est la plus sollicitée pour l'alimentation en eau potable (AEP) et l'irrigation. Les débits mobilisés à cet effet se répartissent comme suit : 31 417 131 m<sup>3</sup>/an pour l'irrigation, et 46 408 644 m<sup>3</sup>/an pour l'alimentation en eau potable (Kadri and

Chaouche, 2018) .La Figure1 explique la formation des eaux souterraines dans la wilaya d'El-Oued.

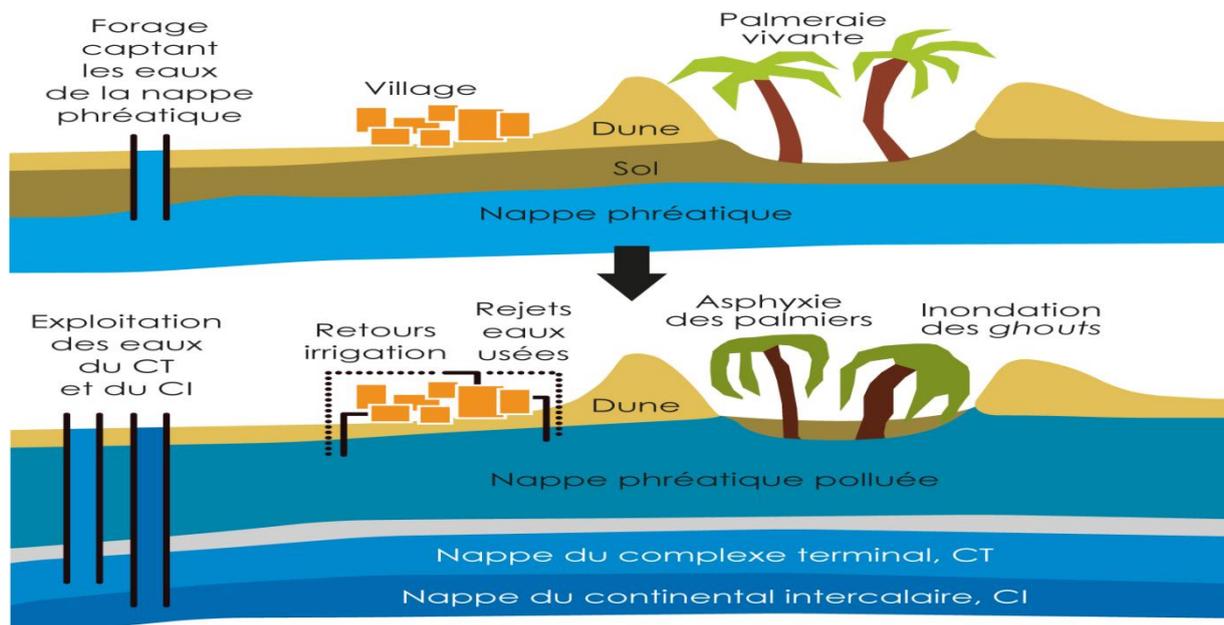


Figure 1: eaux souterraines dans la wilaya d'El-Oued(Kadri and Chaouche, 2018).

## I.2.2 Les eaux superficielles

### I.2.2.1 Les glaciers

L'eau est stockée sous forme de neige et de glace, Elle alimente les cours d'eau locaux en quantités variable en fonction des saisons. Cependant, beaucoup des glaciers s'amenuisent à l'heure actuelle en raison du réchauffement climatique (Tricart, 1976). Les glaciers naissent sous l'influence de conditions climatiques froides, dans les zones de hautes montagnes ou aux extrémités polaires. Les massifs montagneux des Alpes (Figure2) culminant à plus de 4500m. Chaque glacier a des propres caractéristiques(ASCD, 2004).



Figure 2: glaciers dans les massifs montagneux des Alpes(ASCD, 2004)

### **I.2.2.2 Les précipitations**

C'est la pluie et la rosée. Elles jouent un rôle clé dans le renouvellement des ressources en eau et dans les conditions climatiques et dans la biodiversité. En fonction des conditions locales, les précipitations peuvent alimenter les rivières et les lacs, reconstituer les nappes phréatiques ou retourner dans l'atmosphère par évaporation (Tricart, 1976) .

#### **I.2.2.2.1 Barrages de stockage d'eau de précipitations en Algérie**

Les barrages constituent 33% seulement des ressources en eau produites à l'échelle nationale. L'Algérie dispose actuellement de 75 barrages en cours d'exploitation, 05 qui entreront en service prochainement, en sus de 05 autres barrages en cours de réalisation (Algérie presse service, 2022).

La carte de répartition des barrages montre qu'ils se concentrent presque exclusivement dans la partie tellienne du pays où les conditions naturelles sont optimales. Les ressources en eau de surface sont estimées à 12,3 milliards de m<sup>3</sup>, le volume mobilisable ne représente que la moitié (52%) des ressources d'eau. Le taux de remplissage des 16 barrages de côté Ouest est resté médiocre. Les barrages de l'est étaient relativement sous approvisionnés durant seulement 2001 et 2002. Trois barrages présentent des signes inquiétants ; le tout petit Foum El Gueiss, le Zardezas et le Hammam Grouz. Nous pouvons rajouter le Mexa qui enregistrait des taux honorables entre 2001 et 2003, dépassant les 70 % mais n'arrive plus à atteindre la barre symbolique des 50 % depuis (2001-2003) (Touati, 2010).

Le volume d'eau estimé dans les barrages en Algérie est d'environ 7776,5.10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> (Ouamane, 2009).

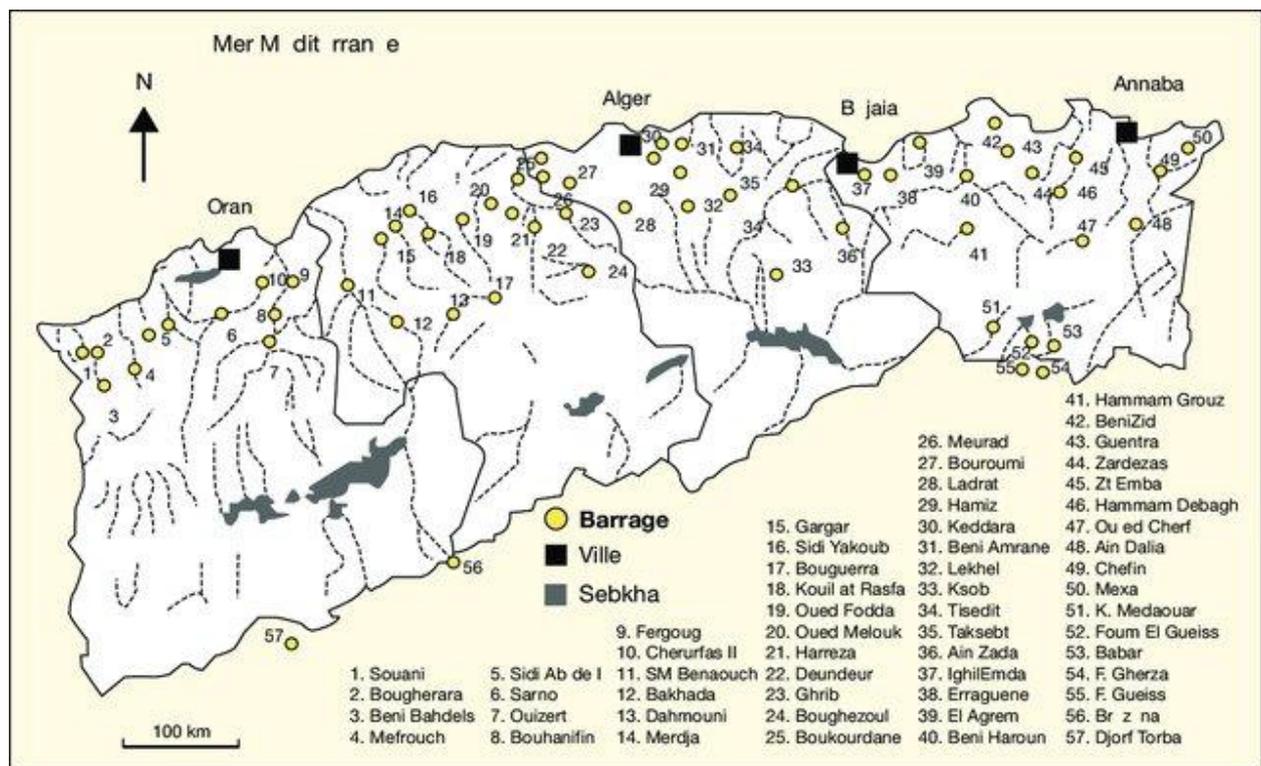


Figure 3: Répartition des barrages en Algérie(Remini et al., 2009).

### I.3) Différents types d'eaux non conventionnelles

Les ressources palliatives représentent environ 5% des ressources produites en Algérie. En matière de mobilisation des ressources en eau non conventionnelles et pour pallier au manque d'eau et faire face aux besoins sans cesse grandissants de la population en eau potable(Agence nationale de gestion intégré des ressources en eaux, 2020). Les orientations du pays ont misé sur d'autres sources alternatives comme suis :

#### I.3.1 L'eau de mer dessalée

Ce programme stratégique des stations de dessalement d'eau de mer (Figure4) est destiné à libérer le pays de la dépendance de la pluviométrie pour l'alimentation en eau potable des populations des régions côtières(BOUKAMOUM, 2016).

En Algérie, La solution du dessalement d'eau de mer a été mise en œuvre avec succès depuis quelques années grâce au partenariat étranger et à de nombreux petits projets financés sur le budget de l'État. Elle est également une option hautement stratégique qui mettra fin dans la majorité des villes du nord du pays aux difficultés récurrentes d'approvisionnement en eau, une denrée de plus en plus rare à cause des aléas climatiques et des longues périodes de sécheresse dans le pays. C'est à l'ouest du l'Algérie où la population souffre d'un déficit sévère en eau potable, que seront installées la plupart des stations de dessalement ce qui permettra les habitants de profiter d'une eau de même qualité que l'eau conventionnelle(ZIZI, 2013).



Figure 4: station dessalement de l'eau de mer (Christophe, 2018).

### I.3.2 Les eaux saumâtres déminéralisées

L'Algérie dispose de 22 stations de déminéralisation des eaux saumâtres avec une exploitation de 0,22 millions  $m^3/j$  desservant environ 949033 habitants (Agence nationale de gestion intégrée des ressources en eau, 2020).

La déminéralisation des eaux saumâtres (filtration des eaux) se fait dans les Hauts Plateaux et le Sud d'Algérie. Les stations situées dans le sud de pays où le débit de traitement est relativement faible entre 100 et 200  $m^3/j$  sont exploitées par les collectivités locales et la SONELGAZ (un groupe industriel énergétique algérien, spécialisé dans la production, la distribution et la commercialisation d'électricité et de l'achat, le transport, la distribution et la commercialisation de gaz naturel). Ces quantités d'eau fournies ne répondent pas aux quantités demandées (BOUKAMOUM, 2016).

Dans la wilaya d'El-Oued, la réalisation du projet de station de déminéralisation d'eaux potables est basée sur le système d'osmose inverse. Cette technique a donné une entière satisfaction ; car le coût de l'exploitation a optimisé un approvisionnement sûr en eau de qualité et quantité suffisante. En outre, ce système ne demande pas une main d'œuvre considérable puisque l'exploitation des organes électromécaniques est simplement manipulée (ZAIDI, 2019). La figure 5 présente la station de déminéralisation.



Figure 5: station déminéralisation des eaux dans la wilaya d'El-Oued(ZAIDI, 2019).

### **I.3.3 Les eaux usées traitées**

Les eaux usées, aussi appelées effluents liquides sont des eaux polluées, constituées de toutes les eaux de nature contaminer par des polluants physiques ou chimiques ou biologiques. Elles sont des eaux qui ont été altérées par l'activité humaine. Eaux usées peut s'agir d'eaux polluées provenant d'usines ou d'eau ruissellement provenant d'un parc de stationnement. Elles montrent toutes les eaux arrivées des activités domestiques, agricoles et industrielles chargées en substances toxiques qui circulent dans les canalisations d'assainissement. Elles englobent également les eaux de pluies tombées sur sol(BEN MABROUK and MELLAK, 2020).

L'objectif principal de la réutilisation des eaux usées traitées est non seulement de fournir des quantités supplémentaires d'eau de bonne qualité en accélérant le cycle d'épuration naturelle de l'eau, mais également d'assurer l'équilibre de ce cycle et la protection du milieu recevant Cette réutilisation d'eau est une action planifiée qui vise la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler des déficits hydriques et servent au usages agricoles, industriels et urbains (djeddi, 2007).

#### **I.3.3.1 Usage agricole des eaux usées traitées**

L'épuration de l'eau usée et son utilisation en irrigation est une option attrayante, en particulier dans les zones arides et semi-arides, car elle représente une source d'eau et d'engrais additionnels renouvelables et fiables. L'effluent traité peut être utilisé pour l'irrigation dans des conditions contrôlées pour minimiser les risques de contaminants pathogènes et toxiques des produits agricoles, les sols, la surface, et l'eau souterraine. Les eaux usées traitées ont une valeur nutritive élevée qui peut améliorer la croissance des plantes, réduire les taux d'application d'engrais et d'augmenter la productivité des sols de fertilité pauvres (Rafika et al., 2017).

### **I.3.3.2 Usage urbain des eaux usées traitées**

Les utilisations possibles d'eaux épurées en zone urbaine sont extrêmement nombreuses, il existe de multiples exemples à travers le monde. Comme par exemples :

- l'arrosage des parcs, de terrains de sport, de terrains de golf, d'aires de jeux.
- les bassins d'agrément, piscines, bassins pour la pêche et la navigation de plaisance.
- les eaux des sanitaires d'un immeuble ou d'un groupe d'immeubles.
- le lavage de voirie, réservoirs anti-incendie, etc.(Baumont, 2004).

### **I.3.3.3 Usage industriel des eaux usées traitées**

La réutilisation industrielle des eaux usées traitées peut donc être intéressante dans le secteur de l'énergie, dans les circuits de refroidissement fermés ou ouverts. Les autres applications possibles concernent les laveries industrielles, l'industrie du papier, la production d'acier, de textiles, les industries d'électroniques et de semi-conducteurs, etc.(Baumont, 2004).

## **I.4) Réutilisation des eaux usées traitées**

La réutilisation des eaux usées est un enjeu politique et socio-économique pour le développement futur des services d'eau et d'assainissement. En effet, il a pour principal avantage de fournir une ressource alternative qui permet de réduire les pénuries d'eau, de mieux conserver les ressources naturelles et de pallier les pénuries d'eau(Graham and Richard, 2021).

### **I.4.1 Réutilisation dans les pays en développement**

#### **I.4.1.1 Tunisie**

En Tunisie, la demande en eau augmente rapidement. L'agriculture est soumise à une pression croissante pour partager les ressources en eau avec les autres secteurs économiques. Les pouvoirs publics encouragent l'utilisation des eaux usées traitées en agriculture par des investissements lourds dans les stations de traitement des eaux résiduaires et par des subventions allouées aux agriculteurs(Selmi et al., 2007).

Le secteur agricole consomme la plus grande part des ressources conventionnelles et c'est donc le secteur le plus ciblé par la réutilisation des eaux usées traitées. Par ailleurs, l'utilisation des eaux usées traitées pour certaines productions agricoles vulnérables à la sécheresse ne peut être que bénéfique pour combler les déficits agroalimentaires. La réutilisation des EUT en Tunisie a démarré en 1965 dans les vergers de la Soukra située à environ 5 km au Nord-Est de la ville de Tunis (Neubert and Benabdallah, 2003).

La Tunisie compte 122 usines de traitement des eaux usées, collectant et traitant environ 284 millions de mètres cubes d'eaux usées par an et desservant 86,2 % de la population. Les eaux usées traitées sont distribuées dans les terres agricoles, les terrains de golf et les espaces verts, elles sont également utilisées pour la recharge des eaux souterraines (ITA, 2021).

### I.4.1.2 Arabie Saoudite

L'irrigation agricole et l'irrigation du paysage consomment environ 59 % et 16 % des eaux usées traitées. Le secteur industriel consomme 13 % du total des eaux usées traitées. 8,5 % sont utilisés pour recharger les réservoirs d'eau souterraine (Alkhudhiri et al., 2019).

### I.4.1.3 Qatar

Ce pays exploite les eaux usées traitées à 100%. Selon (West, 2010), Le processus de traitement repose sur plusieurs étapes afin de fournir une eau de haute qualité:

- Traitement primaire sur Step-Screen et dessablage,
- Traitement secondaire en boues actives
- Traitement tertiaire avec une filtration gravitaire suivi d'une filtration sur filtre à sable associées à des membranes d'ultrafiltration permettant une excellente barrière sanitaire pour la réutilisation de l'eau traitée.

la réutilisation des eaux usées traitées à Qatar est répartie comme suit:

- 55% de l'eau traitée est renvoyée en agriculture dans les fermes situées au milieu du désert,
- 42% de l'eau traitée est renvoyée vers la ville de Doha pour l'irrigation des espaces verts,
- 3% de l'eau traitée est réinjectée dans le sol pour recharger la nappe phréatique (West, 2010).



Figure 6: station de traitement des eaux résiduaires urbaines de Doha (West, 2010)

#### **I.4.1.4 Koweït**

Environ 75 % des eaux usées sont traitées. 58 % sont réutilisées. Au total, 30 % des eaux usées non traitées sont rejetées dans la mer. Environ 19% de l'eau consommée dans le secteur agricole est traitée. Environ 270 000 m<sup>3</sup> d'eaux usées traitées sont utilisés pour irriguer les paysages et nourrir les animaux. Le Koweït prévoit d'augmenter ses ressources en eau en utilisant 100% des eaux usées pour l'irrigation agricole, les jardins et le reboisement (Al-Shammari and Shahalam, 2006; Aleisa and Alshayji, 2019).

#### **I.4.1.5 Burkina Faso**

La réutilisation des eaux usées pour l'agriculture soit très répandue sur le territoire du Burkina Faso, il n'existe pas de réglementation nationale destinée à prévenir les risques sanitaires susceptibles de suivre cette pratique(ONEA, 2001).

#### **I.4.1.6 Chine et en Inde**

La Chine et l'Inde, deux pays très peuplés et qui risquent d'être en stress hydrique dans la prochaine décennie, pratiquent à grande échelle la réutilisation des eaux usées en irrigation agricole. Pour l'ensemble des villes chinoises, on compte 1330000 ha irrigués par les eaux usées. Pour l'Inde, le total s'élève à 73000 ha(BENZARIA, 2008).

### **I.4.2 Réutilisation dans les pays développés**

#### **I.4.2.1 États-Unis**

Aux États-Unis, 34 états disposent de réglementations concernant l'usage agricole des eaux usées. La Californie fait office de précurseur. Sa réglementation sur la qualité des eaux et leur utilisation dénommée « Title 22 », c'est une référence au niveau international. Respectivement 63 % et 34 % des eaux usées des états de Californie et de Floride sont réutilisées pour l'agriculture (Baumont, 2004).

### I.4.2.2 France

En France, la quasi-totalité des projets de réutilisation des eaux usées du pays sont des projets agricoles. Les cas de cette pratique concernent les îles ou les parcours de golfs (Baumont, 2004). En moyenne, chaque Français rejette 200 litres d'eaux usées par jour (Henri et al., 2004). Les 21 400 stations d'épuration françaises offrent une capacité totale de traitement de 104 millions d'équivalents habitants (EH). Les centrales sont réparties sur 15 916 communes. La plupart des stations d'épuration sont de petites installations (81 % des stations ont une capacité inférieure à 2 000 EH) et ne traitent qu'une faible proportion (8 %) de la quantité totale d'eaux usées générées (PLAT et al., 2019).

Parmi les techniques utilisées dans le traitement des eaux usées figurent : Dégrillage, Dessablage, Dégraissage-déshuilage, traitement primaire, traitement biologique, traitements complémentaires, traitement des boues (Henri et al., 2004).

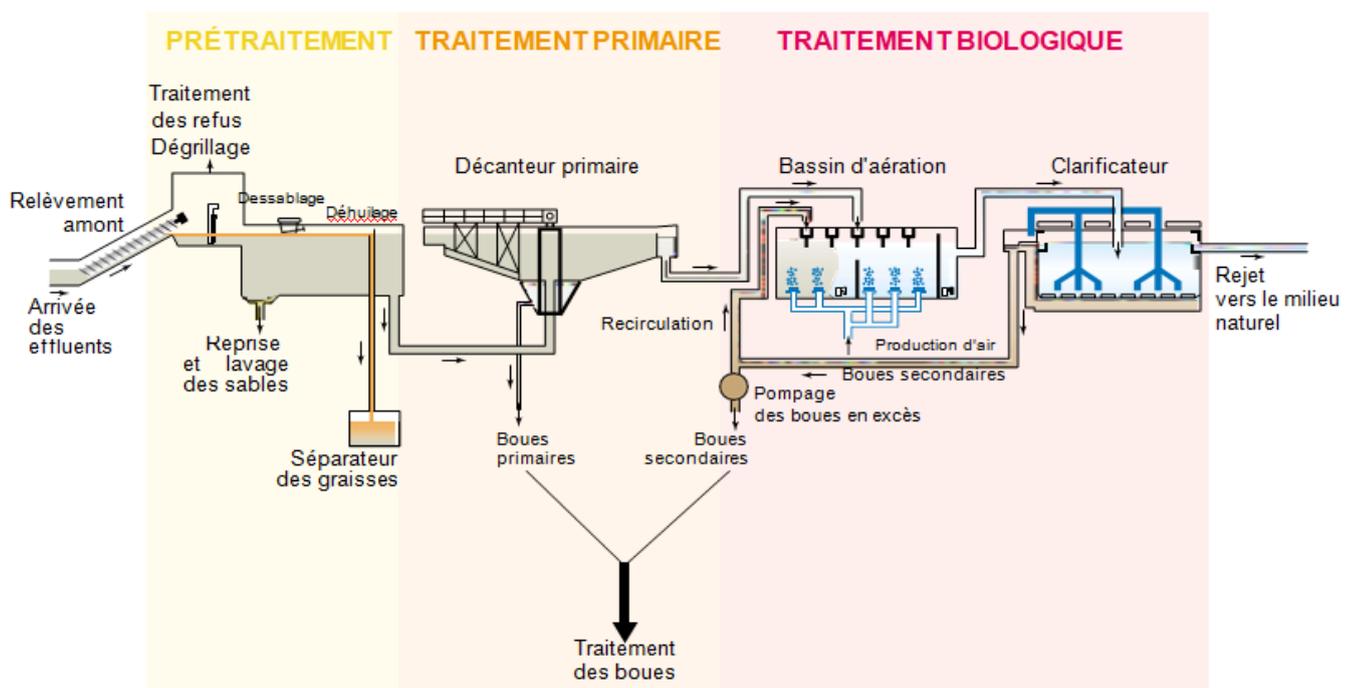


Figure 7: Modes de traitement des eaux usées en France (Henri et al., 2004).

### **I.4.2.3 Pays occupé**

Israël est le leader dans le secteur de la réutilisation des eaux usées. Environ 75 à 80% des effluents sont réutilisés. Ce taux exceptionnel est obtenu notamment grâce à Shafdan, la plus grande station d'épuration du Moyen-Orient, et l'une des plus grandes du monde. L'eau traitée est utilisée dans plusieurs domaines, notamment : recyclage des effluents pour l'agriculture, pour les jardins municipaux et pour l'industrie (Miguet, 2011).

### **I.4.2.4 Australie**

La part d'eaux usées ménagères produites par des ménages raccordés aux égouts est très élevée en Australie (89 %). Les estimations régionales de la proportion d'eau traitée en toute sécurité en Australie sont inférieures à 50 %. Son objectif ambitieux est de voir jusqu'à 60% de leur demande en eau par la réutilisation des eaux usées épurées (Graham and Richard, 2021).

### **I.4.2.5 Grèce**

La ville d'Athènes a développé en 1996 une stratégie de réutilisation des eaux usées traitées. La réutilisation est une solution particulièrement attractive vu les difficultés d'approvisionnement en eau rencontrées ces dernières années. Les différentes alternatives étudiées dans le pays sont celles les plus fréquemment appliquées dans les programmes de réutilisation des eaux usées urbaines à travers le monde (djeddi, 2007).

Des pays comme **le Portugal, l'Italie, l'Espagne** ont des programmes plus ou moins avancés dans la réutilisation des eaux usées pour l'agriculture. En Europe du nord, **la Hongrie** utilisent les eaux épurées pour irriguer des céréales, des pommes de terre, etc. mais à moindre échelle (Baumont, 2004).

## **I.5) Bénéfiques et inconvénients de réutilisation des eaux usées**

Selon (Lazarova and Brissaud, 2003) la réutilisation des eaux usées traitées a deux côtés: positives et négatives, le Tableau suivant présente les bénéfiques et inconvénients de réutilisation des eaux usées dans différents aspects: environnementale, sanitaire, hydrique, agricole, législatif et économique.

Tableau 1: bénéfices et inconvénients de réutilisation des eaux usées(Lazarova and Brissaud, 2003).

<b>Bénéfiques</b>	<b>Inconvénients</b>
<b>Coté environnementale</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Réduction des nuisances environnementaux comme l'eutrophisation et prolifération des bactéries néfastes.</li> <li>▪ Prévenir les dommages aux écosystèmes aquatiques à la suite du déficit d'eau.</li> <li>▪ Amélioration de l'environnement par l'irrigation des espaces verts.</li> <li>▪ Améliorer et maintenir les plans d'eau en cas de sécheresse.</li> <li>▪ Prévention de la pollution hydrique qui se produirait si les eaux usées étaient rejetées dans les cours d'eau ou les lacs.</li> <li>▪ Proposer une alternative fiable aux rejets d'eaux usées dans les milieux sensibles (zones de baignade ou conchylicoles, réserves naturelles, etc.).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Certaines substances pouvant être présent dans les eaux usées de telle concentrations qu'ils sont toxique pour les plantes où conduire à un dégât environnemental.</li> <li>▪ En raison de la salinité élevée dans l'eau usée il peut résulter certains effets négatifs sur le sol et sur les plantes ce qui entraînerait une chute de la production végétale et même une dégradation des sols par accumulation de sel.</li> <li>▪ L'apport en quantité importante des doses de l'azote et de phosphore peut nuire la production agricole et contribue à la pollution des nappes.</li> </ul>
<b>Coté sanitaire</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Réduire l'utilisation des engrais chimiques en agriculture ce qui diminue les risques sanitaires associés.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Risque sanitaire lié à la présence des microorganismes pathogènes dans les eaux usées traités aussi bien pour le travailleur que pour le consommateur.</li> <li>▪ L'excès des métaux lourds toxiques dans les eaux usées traitées cause un danger pour l'être humain.</li> </ul>
<b>Coté hydrique</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La réutilisation des eaux usées traitée montre une ressource alternative qui augmente la ressource en eau et permet la flexibilité d'approvisionnement tout en diminuant la demande globale de population.</li> <li>▪ exécution rapide et plus facile que la mobilisation de nouvelles ressources en eau de première main comme le dessalement des eaux de mer.</li> <li>▪ Économiser l'eau potable pour la réserver aux usages domestiques.</li> <li>▪ Recharge artificielle de nappe souterraine.</li> <li>▪ Contrôler la surexploitation des ressources</li> </ul>	/

<p>souterraines.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪Préserver les sources en eau potable.</li> <li>▪ Les rejets urbains ont des débits continus et presque constants durant l'année ce qui répond aux demandes en eau agricole selon les différents saisons et périodes d'irrigation.</li> </ul>	
Coté agricole	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Utilisation des sels nutriments pour les cultures (par exemple azote et phosphate).</li> <li>▪Amélioration des propriétés chimiques du sol (fertilité et rendement du sol).</li> <li>▪ Amélioration des caractéristiques physiques du sol grâce à l'apport important de matière organique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪contamination de sol par salinité, métaux lourds et organismes pathogènes.</li> <li>▪Transfère des contaminants vers les cultures récoltées.</li> <li>▪les cultures fourragères irriguées par eaux usées mal traitées peuvent entraîner des conséquences néfastes sur le bétail.</li> </ul>
Coté législatifs	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ les eaux usées sont compatible avec les réglementations de réutilisation.</li> <li>▪Réglementation approfondie nationale et internationales afin de garantir la protection de santé publique et de limiter les risques sanitaires.</li> <li>▪Garantir une indépendance vis-à-vis du fournisseur d'eau potable des autres pays ou bien du nord vers le sud du même gouvernement comme l'Algérie.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Absences de réglementations complètes pour la réutilisation concernant certains éléments toxiques.</li> </ul>
Coté économique	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Augmentation de la valeur foncière des terrains irrigués.</li> <li>▪Les couts de réutilisation sont limités par rapport aux autres techniques de procédures d'eau douce.</li> <li>▪Diminution des couts agricoles pour l'approvisionnement en engrais grâce au recyclage d'eau usée.</li> <li>▪Baissement des couts d'eau de pompage et de transport d'eau potable.</li> <li>▪ Le secteur du tourisme et des loisirs peut bénéficier de la réutilisation de l'eau tels que les terrains de golf.</li> <li>▪Assurer des revenus complémentaires grâce à la vente de l'eau recyclée et des produits</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Financement des infrastructures (traitement tertiaire et réseau de distribution) et des coûts d'exploitation.</li> <li>▪ Recouvrement des coûts élevés aléatoires.</li> </ul>

dérivés.

- Assurer des bénéfices économiques pour les usagers grâce à la disponibilité de l'eau recyclée en cas de sécheresse.
- Réduire les coûts énergétiques et environnementaux par rapport à ceux de l'exploitation des aquifères profonds, du transport d'eau à longues distances, du dessalement, etc.
- Assurer une ressource alternative à faible coût pour les régions arides, la protection des milieux sensibles et la restauration des zones humides.
- l'eau usées traitées peut être utiliser dans l'industrie comme refroidissement, l'alimentation des chaudières et le lavage des installations ainsi que pour les toilettes et autres sanitaires les usages.

## **I.6) Meilleurs techniques de traitement des eaux usées pour des raisons agricoles**

L'usage d'eaux usées brutes est fortement déconseillé car il est un vecteur d'un risque sanitaire potentiellement important pour l'homme et parce qu'il dégrade l'environnement. Pour limiter au mieux ces problèmes, les eaux usées sont envoyées dans des station dépurations (STEP) qui sont un ensemble de techniques conçus pour extraire les différents polluants de ces eaux. L'assemblage de tous ces processus est aussi connu sous le nom de filière de traitement (Boutin et al., 2009).

### **I.6.1 Technique de l'adsorption**

L'adsorption est généralement considérée comme une méthode rentable et fiable pour le traitement des eaux usées. L'adsorption comme expliqué ci-dessous dans la figure 8 est essentiellement un processus de transfert de masse dans lequel un soluté ou des espèces amovibles sont transportés d'une phase liquide à la surface d'une phase solide. Par interactions physico-chimiques, les espèces adsorbées sont liées à la surface solide. L'efficacité d'élimination des polluants par l'opération d'adsorption peut aller jusqu'à 99,9 % (Rashid et al., 2021).

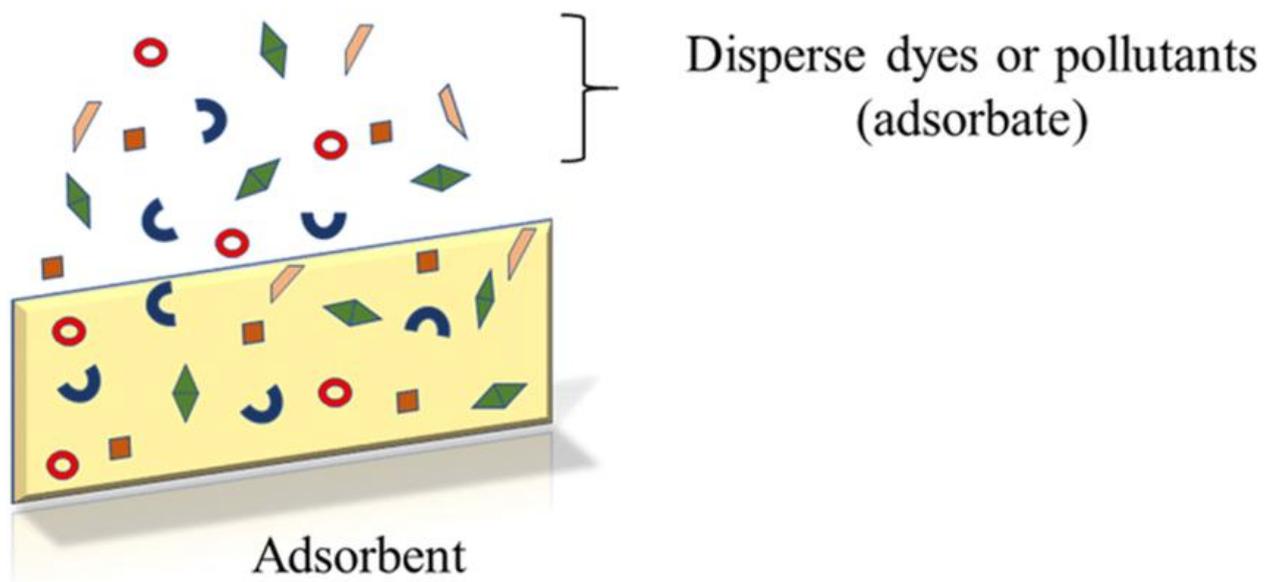


Figure 8: Mécanisme général d'absorption pour éliminer les contaminant(Rashid et al., 2021)

### I.6.2 Technique de l'osmose inverse

L'osmose inverse montré par la Figure 9 est un système de purification des eaux usées s'appuyant sur un procédé de filtration par membranes ultra-fines permettant de séparer l'eau pure (le perméat) des sels dissous (le concentrat). Sa technologie repose sur un phénomène physique, qui, une fois mécaniquement inversé par pression entre 20 et 80 bars, et à l'aide d'une membrane semi-perméable ne laissant passer que les molécules d'eau. Cette nouvelle technique permet d'isoler efficacement les sels dissous contenus dans l'eau usée tel que les métaux lourds, l'ammoniac, les phénols, les produits pharmaceutiques, les bactéries, les pesticides et encore les résidus de décomposition plastique (acide perfluorooctanoïque – perturbateurs endocriniens). L'osmose inverse permet d'éliminer jusqu'à 99.9% des polluants présents dans les eaux usées(OSMEO, 2019).



Figure 9: Technique d'osmose inverse pour le traitement des eaux usées(OSMEO, 2019).

### I.6.3 Technique de rayons ultraviolets (UV)

Le traitement des eaux usées par rayons ultraviolets désigne le procédé de désinfection de l'eau qui traverse une source lumineuse particulière. Protégée par un manchon transparent avant d'être immergée dans l'eau, l'ampoule émet des ondes ultraviolettes qui inactivent les micro-organismes pathogènes. Cette technique de traitement gagne en popularité dans les des micros stations d'épurations en assainissement non collectif ou en petites collectivités pour obtenir une sécurité optimal, puisqu'elle ne demande pas l'ajout de produits chimiques (Klar, 2014).

Les rayons ultraviolets affectent le patrimoine génétique des différents micro-organismes contenues dans l'eau usée, la fluence énergétique des rayons est absorbée par leur ADN et leur ARN, donc même l'ARN des virus à sont directement impactés. Le spectre d'absorption des nucléotides se situe entre 210 et 310 nm avec un pic d'absorption autour de 260 nm. En fonction de l'exposition de l'UV le code génétique de l'organisme ciblé (virus ou bactérie) va subir des distorsions dont sa formes .Cette modification du code génétique va enlever à l'organisme ciblé la capacité de se reproduire; voire provoquer directement la mort de celui-ci(Clément, 2018).

### I.6.4 Technique de filtration membranaire

D'après (Trevi, 2020), la filtration membranaire est une technique de séparation où l'eau usée est pompée sous pression au travers d'une membrane semi-perméable. En fonction de la taille des pores de la membrane, différents types de polluants peuvent être retenus. Comme la montre la figure 10, on distingue :

- Microfiltration : 5  $\mu\text{m}$  à 0,1  $\mu\text{m}$  pour filtrer les bactéries et les matières en suspension.
- Ultrafiltration : 0,1  $\mu\text{m}$  à 20 nm pour filtrer les protéines, macromolécules et les virus.
- Nanofiltration : 20 nm à 1 nm pour filtrer les sels polyvalents, les petites molécules organiques dissoutes.

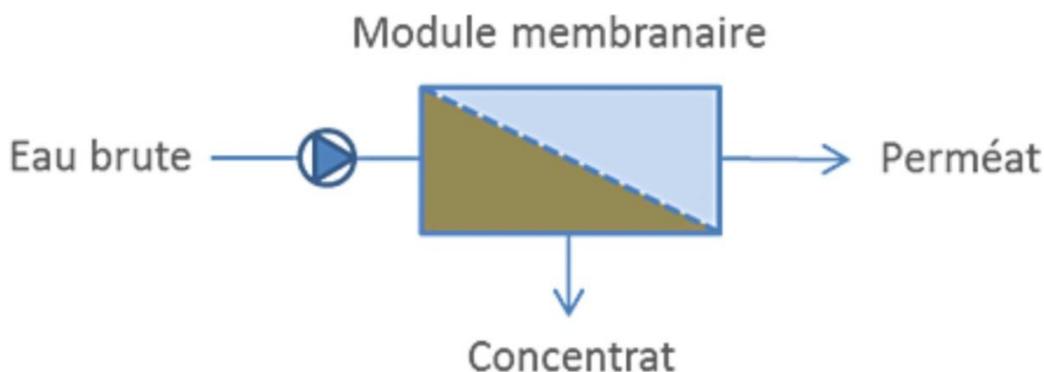


Figure 10: Filtre à membrane(Trevi, 2020).

---

## **I.7 Défis de l'irrigation par eaux usées traitées**

### **I.7.1 Défis économiques**

L'absence des mécanismes de récupération des coûts de réutilisation des eaux usées, y compris un taux d'engagement très faible de soutenir les programmes de traitement des eaux usées : cela a entraîné une minable demande d'eau récupérée basée sur les coûts par rapport aux eaux usées traitées fournies gratuitement aux agriculteurs. En outre, c'est difficile de convaincre les agriculteurs de payer quoi que ce soit pour une eau récupérée qui n'est pas de haute qualité malgré la disponibilité d'eaux usées traitées gratuitement ("Challenges of Wastewater Treatment and Reuse in the MENA Region - Fanack Water," 2017).

### **I.7.2 Défis sociaux**

Un des obstacles majeurs auxquels sont confrontés les projets de réutilisation des eaux usées traitées est l'acceptation du public. Les populations peuvent avoir un aspect négatif sur cette pratique et ça peut mener au rejet de ce type de projet. Les eaux usées sont souvent considérées comme une nuisance en raison de leur odeur. En irrigation, la réutilisation d'eaux usées peut entraîner des rejets par les agriculteurs, les consommateurs et les populations à proximité. Elles ont un aspect inesthétique liée au leur mauvaise réputation quant aux risques sanitaires (Charland, 2014).

### **I.7.3 Défis sanitaires**

Dans la plupart des pays en développement, les systèmes de traitement des eaux usées sont très peu étendus ou sont peu efficaces, ce qui engendre une pollution d'eau à vaste échelle à cause d'utilisation d'eau de mauvaise qualité dans l'irrigation des cultures, et notamment à proximité des centres urbains. Cela pose de grands risques pour la santé publique, spécialement lorsque les produits irrigués sont consommés crus (Raschid-sally and Redwood, 2011).

### **I.7.4 Défis juridiques**

Il est plus facile d'élaborer des réglementations que de les faire appliquer. Lors de la préparation d'une nouvelle réglementation, il est important de prévoir les établissements, le personnel et les moyens nécessaires pour garantir le respect de cette réglementation. Il importe aussi de s'assurer que cette réglementation est réaliste et applicable dans le contexte où elle doit l'être. Il sera souvent avantageux d'adopter une démarche par étapes ou de tester une nouvelle série de prescriptions réglementaires en persuadant une administration locale de les voter en tant qu'arrêtés avant qu'elles ne soient étendues au reste du pays (OMS, 2012).

## I.8 Normes nationale et internationales pour la réutilisation des eaux usées

### I.8.1 Normes nationales

En 2012, l'Algérie a mis les derniers règlements nationaux (Arrêté interministériel du 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012 fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation, 2012) pour orienter la réutilisation des eaux usées traitées dans le pays. Le tableau 2 présente la limite microbiologique exigée pour l'irrigation avec les eaux usées traitées.

Tableau 2: Standards algériennes microbiologiques de réutilisation des eaux usées en irrigation (Arrêté Interministériel, 2012)

GROUPES DE CULTURES	PARAMÈTRES MICROBIOLOGIQUES	
	Coliformes fécaux (CFU/100ml) (moyenne géométrique)	Nématodes intestinaux (œufs/1) (moyenne arithmétique)
<b>Irrigation non restrictive.</b>	<100	Absence
<b>Culture de produits pouvant être consommés crus.</b>		
<b>Légumes qui ne sont consommés que cuits.</b>	<250	<0,1
<b>Légumes destinés à la conserverie ou à la transformation non alimentaire.</b>		
<b>Arbres fruitiers (1).</b>	Seuil recommandé <1000	<1
<b>Cultures et arbustes fourragers (2).</b>		
<b>Cultures céréalières.</b>		
<b>Cultures industrielles (3).</b>		
<b>Arbres forestiers.</b>		
<b>Plantes florales et ornementales (4).</b>		
<b>Cultures du groupe précédent (CFU/100ml) utilisant l'irrigation localisée (5) (6).</b>	Pas de norme recommandée	Pas de norme recommandée

(1) L'irrigation doit s'arrêter deux semaines avant la cueillette. Aucun fruit tombé ne doit être ramassé sur le sol. L'irrigation par aspersion est à éviter.

(2) Le pâturage direct est interdit et il est recommandé de cesser l'irrigation au moins une semaine avant la coupe.

(3) Pour les cultures industrielles et arbres forestiers, des paramètres plus permissifs peuvent être

adoptés.

(4) Une directive plus stricte (<200 coliformes fécaux par 100 ml) est justifiée pour l'irrigation des parcs et des espaces verts avec lesquels le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.

(5) Exige une technique d'irrigation limitant le mouillage des fruits et légumes.

(6) A condition que les ouvriers agricoles et la population alentour maîtrisent la gestion de l'irrigation localisée et respectent les règles d'hygiène exigées. Aucune population alentour (Arrêté interministériel du 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012 fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation, 2012).

Concernant le coté physico chimique, le tableau suivant (Tableau 3) explique les concentrations à ne pas dépasser pour chaque élément analysé dans l'eau usée traitée avant irrigation.

Tableau 3 Standards Algériennes physico chimique de réutilisation des eaux usées (Arrêté Interministériel, 2012)

PARAMETRES	UNITÉ	CONCENTRATION MAXIMALE ADMISSIBLE
	pH	$6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$
	MES	mg/l 30
	CE	ds/m 3
	Infiltration le SAR = 0 - 3 CE	ds/m 0.2
<b>Physiques</b>	3 – 6	0.3
	6 – 12	0.5
	12 – 20	1.3
	20 - 40	3
<b>Chimiques</b>	DBO5	mg/l 30
	DCO	mg/l 90
	CHLORURE (Cl)	meq/l 10
	AZOTE (NO <sub>3</sub> - N)	mg/l 30
	Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> )	meq/l 8.5
	Aluminium	mg/l 20.0
	Arsenic	mg/l 2.0
	Béryllium	mg/l 0.5

<b>Elément toxiques (*)</b>	Bore	mg/l	2.0
	Cadmium	mg/l	0.05
	Chrome	mg/l	1.0
	Cobalt	mg/l	5.0
	Cuivre	mg/l	5.0
	Cyanures	mg/l	0.5
	Fluor	mg/l	15.0
	Fer	mg/l	20.0
	Phénols	mg/l	0.002
	Plomb	mg/l	10.0
	Lithium	mg/l	2.5
	Manganèse	mg/l	10.0
	Mercure	mg/l	0.01
	Molybdène	mg/l	0.05
	Nickel	mg/l	2.0
	Sélénium	mg/l	0.02
	Vanadium	mg/l	1.0
Zinc	mg/l	10.0	

(\*) : Pour type de sols à texture fine, neutre ou alcalin.

## I.8.2 Normes internationales

### I.8.2.1 l'Union européenne

En 2020, l'Union européenne a mis en place de nouvelles lois qui déterminent les concentrations d'éléments impliqués dans la réutilisation des eaux usées traitées, comme indiqué dans les tableaux suivants.

Tableau 4 la qualité de l'eau de récupération et usage et méthode d'irrigation agricoles autorisés (Europ et al., 2020).

<b>Classe minimale de qualité d'eau de récupération</b>	<b>Catégories de cultures (*)</b>	<b>Méthode d'irrigation</b>
<b>A</b>	Toutes les cultures vivrières consommées crues dont la partie comestible est en contact direct avec l'eau de récupération et les plantes sarclées consommées crues	Tous les méthodes irrigation
	Cultures vivrières consommées crues dont la	Tous les méthodes

<b>B</b>	partie comestible est cultivée en surface et n'est pas en contact direct avec l'eau de récupération, cultures vivrières transformées et cultures non vivrières, y compris cultures servant à l'alimentation des animaux producteurs de lait ou de viande	irrigation
<b>C</b>	Cultures vivrières consommées crues dont la partie comestible est cultivée en surface et n'est pas en contact direct avec l'eau de récupération, cultures vivrières transformées et cultures non vivrières, y compris cultures servant à l'alimentation des animaux producteurs de lait ou de viande	Irrigation goutte-à-goutte (***) ou autre méthode d'irrigation permettant d'éviter un contact direct avec la partie comestible des cultures
<b>D</b>	Cultures industrielles, cultures énergétiques et cultures semencières	Tous les méthodes irrigation (***)

(\*) Si le même type de cultures irriguées relève de plusieurs catégories du tableau 1, les exigences de la catégorie la plus stricte s'appliquent.

(\*\*) L'irrigation goutte-à-goutte est un système de micro-irrigation permettant d'apporter des gouttes d'eau ou de petits filets d'eau aux plantes et consistant à laisser goutter l'eau sur le sol ou directement sous sa surface à un débit très faible (2-20 litres/heure) à partir d'un système de tuyaux en plastique de petit diamètre équipés de sorties appelées émetteurs ou goutteurs.

(\*\*\*) Dans le cas des méthodes d'irrigation par aspersion, il convient de veiller tout particulièrement à protéger la santé des travailleurs et des autres personnes présentes. Des mesures préventives appropriées sont appliquées à cet effet.

Tableau 5: exigences de qualité applicables de l'eau usée traitée destinée à l'irrigation agricole (Europ et al., 2020).

Classe de qualité de l'eau de récupération	Objectif technologique indicative	Exigences de qualité				
		E. coli (nombre/100 ml)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	MES (mg/l)	Turbidité (NUT)	Autre
<b>A</b>	Traitement secondaire, filtration et désinfection	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 5	Legionella existe un risque spp. : de < for 1000 mation ufc/l

<b>B</b>	Traitement	$\leq 100$	Conformé	Conformé	—	d'aérosols lorsqu'il
	secondaire et désinfection		ment à la directive	ment à la directive		Nématodes intestinaux (œufs
<b>C</b>	Traitement	$\leq 1\ 000$	91/271/C	91/271/C	—	d'helminthes) : $\leq 1$
	secondaire et désinfection		EE	EE		œuf/l pour
<b>D</b>	Traitement	$\leq 10\ 000$			—	l'irrigation des
	secondaire et désinfection					pâturages ou des fourrages

Tableau 6: Surveillance de validation de l'eau de récupération destinée à l'irrigation agricole (Europ et al., 2020).

Classe de qualité de l'eau de récupération	Microorganismes indicateurs (1)	Objectifs de performance de la chaîne de traitement (réduction log10)
A	E. coli	$\geq 5,0$
	Coliphages totaux/coliphages Fspécifiques/coliphages somatiques/coliphages (2)	$\geq 6,0$
	Spores de Clostridium perfringens/bactéries anaérobies sulfito-réductrices et leurs spores (3)	$\geq 4,0$ (dans le cas de spores de Clostridium perfringens) $\geq 5,0$ (dans le cas de bactéries anaérobies sulfito réductrices et leurs spores)

(1) Les pathogènes de référence *Campylobacter*, rotavirus et *Cryptosporidium* peuvent aussi être utilisés pour la surveillance de validation, à la place des microorganismes indicateurs proposés. Les objectifs de performance suivants, exprimés en réduction log10, doivent dans ce cas s'appliquer : *Campylobacter* ( $\geq 5,0$ ), rotavirus ( $\geq 6,0$ ) et *Cryptosporidium* ( $\geq 5,0$ ).

(2) Les coliphages totaux sont choisis comme étant l'indicateur viral le plus approprié. Cependant, si l'analyse des coliphages totaux est impossible, au moins l'un d'entre eux (les coliphages F-spécifiques ou les coliphages somatiques) doit être analysé.

(3) Les spores de *Clostridium perfringens* sont choisies comme étant l'indicateur de protozoaires le plus approprié. Cependant, les bactéries anaérobies sulfito-réductrices et leurs spores offrent une solution de remplacement si la concentration de spores de *Clostridium perfringens* ne permet

pas de valider la réduction log10 requise.

### I.8.2.2 Maroc

Concernant le coté bactériologique, le tableau 7 ci-dessous explique les concentrations à ne pas dépasser pour chaque élément analysé dans l'eau usée traitée avant l'irrigation.

Tableau 7: exigences bactériologiques marocaines pour l'irrigation avec les l'eaux usées traitées (Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, 2007).

PARAMETRES	VALEURS LIMITES
<b>COLIFORMES FECAUX</b>	1000/100 ml*
<b>SALMONELLE</b>	Absence dans 5L
<b>VIBRION CHOLERIQUE</b>	Absence dans 450ml

Concernant le coté parasitologiques, le tableau suivant (Tableau 8) explique les concentrations à ne pas dépasser pour chaque élément analysé dans l'eau usée traitée avant irrigation.

Tableau 8: norme marocaine des paramètres parasitologiques pour l'irrigation avec les l'eaux usées traitées (Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, 2007).

PARAMETRES	VALEURS LIMITES
Parasites pathogènes	Absence
Œufs, kystes de parasites	Absence
Larves d'ankylostomides	Absence
Fluococercaires de <i>Schistosoma hoematobium</i>	Absence

Concernant le coté Toxiques, le tableau suivant (Tableau 9) explique les concentrations à ne pas dépasser pour chaque élément analysé dans l'eau usée traitée avant irrigation .

Tableau 9: valeurs limites des éléments trace métalliques dans les eaux usées traitées pour l'irrigation (Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, 2007).

Paramètres	Valeurs limites
Mercure (Hg) en mg/l	0,001
Cadmium (Cd) en mg/l	0,01
Arsenic (As) en mg/l	0,1
Chrome total (Cr) en mg/l	1

Plomb (Pb) en mg/l	5
Cuivre (Cu) en mg/l	2
Zinc (Zn) en mg/l	2
Sélénium (Se) en mg/l	0,02
Fluor (F) en mg/l	1
Cyanures (CN) en mg/l	1
Phénols en mg/l	3
Aluminium (Al) en mg/l	5
Béryllium (Be) en mg/l	0,1
Cobalt (Co) en mg/l	0,5
Fer (Fe) en mg/l	5
Lithium (Li) en mg/l	2,5
Manganèse (Mn) en mg/l	0,2
Molybdène (Mo) en mg/l	0,01
Nickel (Ni) en mg/l	2
Vanadium (V) en mg/l	0,1

Le coté physico chimique est présenté dans le tableau 10 qui explique les concentrations à ne pas dépasser pour chaque élément analysé dans l'eau usée traitée avant l'irrigation.

Tableau 10: normes marocaines des paramètres physico chimiques (Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, 2007).

Paramètres	Valeurs limites
Salinité total (STD) en ml/l	7680
Conductivité électrique (CE) en mS/cm à 25°C**	12
<b>Infiltration</b>	
Le SAR***=0-3 et CE=	<0,2
Le SAR***=3-6 et CE=	<0,3
Le SAR***=6-12 et CE=	<0,5
Le SAR***=12-20 et CE=	<1,3
Le SAR***=20-40 et CE=	<3

(\*) 1000 CF/100 ml pour les cultures consommées crues.

(\*\*) à partir d'une conductivité électrique de m mS/cm, une eau nécessite des restrictions sévères pour l'irrigation, mais des rendements de 50% du rendement potentiel peuvent être réalisés avec des eaux de 8,7 mS/cm (cas de l'orge).

\*\*\*SAR= Sodium Absorption Ratio (coefficient d'absorption du sodium)

### I.8.2.3 Tunisie

Les tableaux suivants (Tableau 11, 12) expliquent les valeurs limites pour chaque élément analysé dans l'eau usée traitée avant l'irrigation en Tunisie.

Tableau 11: valeurs limites des paramètres des eaux usées en mg/l (Berglund and Claesson, 2010)

Paramètres	Valeurs limites
pH	7,5-7,9
Cd	0,004-0,008
Cu	0,011-0,025
Pb	0,035-0,066
Zn	0,023-0,063

Tableau 12: valeurs limites de Cd, Cu, Pb et Zn dans les eaux usées traitées et leur effet sur les plantes (Berglund and Claesson, 2010)

Élément	Norme (mg/L)	Utilisation à long terme (mg/L)	Utilisation à court terme (mg/L)	Remarques
<b>Cd</b>	0,01	0,01	0,05	Toxique pour les haricots, les betteraves et les navets à de très faibles concentrations (0,1 mg/L) dans une solution nutritive.
<b>Cu</b>	0,5	0,2	5,0	Toxique pour de nombreuses plantes à une concentration de 0,1 mg/L à 1,0 mg/L dans une solution nutritive.
<b>Pb</b>	1	5,0	10,0	Peut réduire et inhiber la croissance des cellules végétales à des concentrations élevées.
<b>Zn</b>	5	2,0	10,0	Toxique pour de nombreuses plantes à des concentrations variables ; toxicité réduite à un pH élevé et dans des sols à texture fine ou organiques.

**I.8.2.4 Australie**

En Australie, la loi détermine les concentrations limites de chaque élément pour la réutilisation des eaux usées traitées comme indiqué dans le tableau 13.

Tableau 13: La qualité des différentes classes d'eaux usées urbaines (Radcliffe, 2019).

Paramètre de qualité	Unité	Classe d'eaux usées	
		Eaux non traitées	Eaux traitées
Coliformes thermotolérants	ufc/100 ml	$6-8 \times 10^6$	<10
Virus	org/50L	-	<2
Parasites	org/50L	-	<1
BOD <sub>5</sub> ,	mg/L	90–290	8–80
pH		6.6–8.7	6.5–8.0
Total Solides dissous	mg/L	284–1700	520–4940
Solides en suspension	mg/L	45–330	<5
Turbidité	NTU	20–>200	<2
Cadmium	µg/L	<10	0–2
Cuivre		0.018–0.39	0.2
Fer		0.094–4.37	1.0
Plomb		<0.05–0.15	0.2

Manganèse	mg/l	0.014-0.075	0.2
Sodium		29–230	41–1540
Zinc		<0.01–0.44	3
Phosphore totale		0.6–27.3	-
Azote totale		2.1–31.5	6.1–44.2
Nitrates		<0.1	0.1–19.5

ufc : unités formant colonie. NTU : Unités de turbidité néphélogéométries.

### I.8.2.5 Arabie Saoudite

Le tableau 14 explique les valeurs seuils pour l'eau usée traitée réutilisée pour l'irrigation en Arabie Saoudite.

Tableau 14: Paramètres physico-chimiques de réutilisation d'eau usée traitée en irrigation en Arabie Saoudite (Alkudhiri et al., 2019).

Paramètres	Unité	Valeur maximale
Turbidité - NTU	NTU	5
pH		6-8
Matériaux flottants		Absent
Demande biochimique d'oxygène (DBO)		10
Demande chimique en oxygène (DCO)		20
Total des solides en suspension (TSS)		40
Huile et graisse		Absent
Sel dissous totaux (TDS)		2500
NO <sub>3</sub> -N		10
Phénol		0.002

Arsenic (As)	ppm	0.1
Plomb (Pb)		0.1
Mercure (Hg)		0.001
Zinc (Zn)		0.2
Aluminium (Al)		4
Fer (Fe)		5
Argent (Ag)		0.2
Cuivre (Cu)		0.4
Chrome (Cr)		0.1

### **I.9 Potentiel des eaux usées traitées dans l'Algérie et dans la wilaya d'El-Oued**

Selon (ONA, 2021) , 142 stations d'épuration sont exploitables, dont 68 sont des stations des boues activées; 71 sont des stations de lagunage, et 03 sont des stations à filtres plantés de roseaux. La capacité totale installée de ces 142 stations est de 9621714 habitants/Km<sup>2</sup>. Ce qui correspond à débit moyen de 1 478 928 m<sup>3</sup>/j. D'autre part, la réutilisation des eaux usées traitées est estimée à 42 % du volume des effluents des 17 stations d'épuration, et à 08% du total volume d'eaux usées traitées produites par l'ensemble des 142 stations d'épuration (Dairi et al., 2021) .

Les informations données par l'office national d'assainissement (ONA) d'El-Oued a indiqué que le volume des eaux usées traitées par les stations d'épuration de la wilaya a atteint 14,85 millions m<sup>3</sup>/an. Le traitement se fait par lagunage aéré (ONA, 2021) .

### **I.10 Réutilisation des eaux usées en Algérie**

#### **I.10.1 Réutilisation agricole**

Les eaux usées du groupement d'Oran traitées par la station d'épuration d'El Kerma sont, désormais, utilisées pour l'irrigation d'une partie des terres agricoles de la plaine de la Mléta au sud de la wilaya, qui s'étend sur une superficie de 8.100 ha. Cette plaine est répartie entre les deux communes d'Oued Tlélat (3.833 ha) et Tafraoui (4.267 ha). La station d'épuration d'El Kerma recourt à un système de la gradation de l'épuration jusqu'à obtenir une eau purifiée utilisée strictement aux fins d'irrigation agricole, signale-t-on. L'opération de l'irrigation de ces superficies agricoles s'effectue par le biais d'un réservoir d'eau d'une capacité de 200.000 m<sup>3</sup> (Le Quotidien, 2011).

La station d'épuration d'Aïn El Houtz, installée pour épurer les eaux rejetées par le groupement urbain de Tlemcen, verra transférer une partie de son volume au périmètre irrigué de Hennaya. Le résultat de ce transfert est observé, d'une part, par l'évolution de la superficie irriguée du périmètre atteignant les 415 ha en 2014 avec un volume d'eau de la station d'épuration de 11

Mm<sup>3</sup>/an, les 745ha en 2018 avec un volume de 3,2Mm<sup>3</sup>/an et dans le futur les 912ha en 2040 avec un volume de 7,3Mm<sup>3</sup>/ an. Ces chiffres montrent que les volumes de la station d'épuration couvrent les besoins en eau, majoritairement pour l'arboriculture, depuis 2014(Merabet-Baghli et al., 2020).

L'utilisation d'eau non conventionnelle comme ressources telles que les eaux usées traitées et n'est pas encore une pratique courante en Algérie. Le traitement complet des eaux usées est négligeable. La notion de réutilisation des eaux usées traitées n'est pas encore en large application. Cependant, quelques parcelles d'essai ont été désignées pour tester la possibilité de l'irrigation en toute sécurité et en conforme avec les valeurs limites nationales données par le gouvernement algérien (Kelkouli et al., 2007) .

### **I.10.2 Réutilisation municipale**

Les réutilisations d'eaux épurées en zone urbaine sont extrêmement nombreuses. En Algérie, les eaux usées épurées sont réutilisées principalement par la protection civile qui récupère un volume de 18763 m<sup>3</sup>/mois d'eau usée épurée de la station d'épuration de Tipaza pour lutter contre les incendies, et les collectivités locales qui récupèrent 12 m<sup>3</sup>/mois des eaux épurées pour le nettoyage de la ville à partir de la station d'épuration de Boumerdès (BOUCHAALA et al., 2017) .

### **I.10.3 Réutilisation industrielle**

La récupération de l'eau usée traitée pour les industries est principalement due à la faible disponibilité de l'eau locale, soit en raison des sources d'eau limitées, soit d'une concurrence intense pour l'approvisionnement. Dans ce contexte de raréfaction des eaux, des nombreuses entreprises cherchent donc d'autres ressources d'eau(Fermas and Lamhachheche, 2020) .

En Algérie, le seul exemple à citer est celui de la station d'épuration de Jijel, qui cède un volume de 15000 m<sup>3</sup>/mois d'eau usée au profit de la tannerie de Jijel (Bouchaala , Laid et al., 2017).

## **I.11 Impact d'irrigation par eaux usées traitées sur le sol**

### **I.11.1 Impact positifs**

La réutilisation des eaux usées est justifiée dans beaucoup de cas, par le fait qu'elles contiennent divers éléments nutritifs pour le sol, notamment les composés à base de nitrates, de phosphore et de potassium. L'utilisation des eaux usées épurées sur sol entraîne des variations importantes de la composition chimique du sol, notamment la salinité, la sodicité, la fertilité (N, P, K) et le contenu en microéléments (Cu, Pb, Zn). Ainsi que les caractéristiques physiques des sols notamment la stabilité structurale(BOUKHEZA and DJEROUNI, 2020) .

L'utilisation des eaux usées peut également prévenir l'eutrophisation et éviter la croissance des algues dans les zones de rejets, telles que les lacs et étangs. cette ressource constitue une valeur hydrique et un potentiel d'apport de matières fertilisantes (Krouchi, 2016) .

Les études scientifiques montrent que les eaux usées traitées peuvent faire une amélioration importante de l'indice d'instabilité structurale du sol surtout sa couche superficielle où il y aura un développement dans sa porosité totale et sa conductivité hydraulique. Les eaux usées traitées n'ont pas un effet négatifs sur les paramètres hydro physiques et la stabilité des terres agricoles en l'absence de problèmes de drainage (ABABSA, 2016) .

En outre, l'irrigation par les eaux usées enrichit le sol en macro et micronutriments vitaux, comme l'azote (N), phosphore (P), potassium (K), zinc (Zn), fer (Fe), manganèse (Mn), et du cuivre (Cu). Du fait de sa composition, les eaux usées traitées peuvent avoir une forte teneur en matière organique ; par conséquent, les eaux usées pourraient être un approvisionnement durable et bénéfique de matière organique pour les sols et peut favoriser le développement des plantes. En addition, cette source importante d'eau contienne généralement de grandes quantités d'éléments nutritifs pour les cultures, elle peut réduire le besoin d'engrais inorganiques coûteux. Les eaux usées traitée participent dans la fertilité des sols et renforcent le rendement agricole. La pratique de la réutilisation des eaux usées traitées ou avec un traitement très faible est un moyen traditionnel pour faire face à la pression sur les ressources en eau douce dans les régions de déficit hydrique (Alnaimy et al., 2021) .

Une étude italienne démontrer l'impact positif des matières en suspension des eaux usées sur la réduction de capacité d'infiltration des sols très poreux (Feller, 2018) .

## **I.11.2 Impact négative**

### **I.11.2.1 Salinisation**

La salinisation du sol par une eau d'irrigation résulte des effets combinés de plusieurs facteurs (climat, caractéristiques du sol, topographie du terrain, techniques culturales, conduite des irrigations...etc.). En effet, chaque facteur va contribuer, selon son état, à l'accentuation ou à l'atténuation de la salinisation du sol (Krouchi, 2016).

(TERCHI, 2014)ont constaté que, l'irrigation avec des eaux usées traitées chargées en sodium  $\text{Na}^+$ , entraîne une élévation des teneurs en cet élément dans tout le profil d'un sol. De plus, que le calcium apporté par les eaux usées traitées, entraîne la libération des ions sodium du complexe absorbant du sol sous forme échangeable, ce qui facilite sa migration en profondeur.

Dans les sols alcalins, un excès en sodium échangeable favorise la dispersion d'argile et rend la

structure du sol instable. Ces sols sont ainsi sensibles aux encroûtements de surface qui accélère le phénomène de ruissellement, donc par conséquence l'érosion hydrique. Une prise de masse du sol peut également réduire fortement l'infiltration de l'eau et conduire à une hydromorphie plus ou moins importante selon sa texture et sa position topographique (Douaoui et al., 2004).

Un taux élevé de sodium échangeable a un effet négatif sur la dispersion des agrégats, ce qui conduit à une réduction de perméabilité, de porosité du sol, et par résultat un tassement de sol. Du point de vue agricole, cela se traduit d'une part par la prise en masse du sol qui devient très compact, dur, difficile à labourer, et d'autre part, par des difficultés de germination, et d'enracinement des plantes. Par ailleurs le sol devient totalement asphyxiant, ce qui engendre une atrophie du système racinaire, de ce fait une baisse considérable des rendements(SAADOUNE, 2016).

#### **I.11.2.2 Accumulation de métaux lourds**

L'utilisation d'eaux usées contenant des rejets industriels fortement chargés en métaux lourds conduit à une accumulation de métaux dans les sols. Les métaux lourds comme le Cd, Zn, Cu, Pb, Ni et Crs ont naturellement présents dans les sols et interviennent dans la croissance des plantes. Cependant ils deviennent toxiques, aussi bien pour la croissance végétale que pour la faune et la flore du sol, lorsque leur teneur dépasse un certain seuil, suite par exemple à des apports excessifs d'origine anthropique. L'utilisation d'eaux usées domestiques traitées ou non en agriculture entraîne une accumulation de métaux lourds dans la couche de terre arable c'est à dire première couche de sol utilisée pour les cultures après labourage. l'effet négatif de ces métaux sur les cultures, même en cas d'épandage sur des périodes prolongées pendant plusieurs décennies(Khelif, 2018).

Le plomb et le mercure sont peu mobiles dans les sols mais, présents sous formes solubles, ces éléments sont très toxiques pour les végétaux, ils peuvent détruire l'allongement racinaires et arrêter par la suite la croissance des plantes(Youssouf, 2020).

Le cobalt peut causer aussi des chloroses quand il est présent en excès. Il est toxique pour les plantes et les êtres humains.

Les métaux qui présentent les risques les plus notables sont : Le cadmium, le mercure, et le plomb. Ils peuvent être toxiques pour les animaux et les humains en temps(Youssouf, 2020).

#### **I.11.2.3 Contamination microbienne**

Les effluents d'eaux usées traitées peuvent ajouter un grand nombre d'agents pathogènes potentiels aux sols. Ceux-ci peuvent inclure des bactéries pathogènes telles que *Escherichia coli* 0157:H7, *Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes*, *Campylobacterspp.*, *Clostridium botulinum*, *Clostridium perfringens*, *Shigella spp.* et *Streptocoques* .

On outre, les parasites qui sont transportés par les d'eaux usées dans l'irrigation comme *Giardia sp.* Et *Cryptosporidium parvum* et *Entamoeba histolytica* peuvent causer des dégâts sur la santé humaine (Ibekwe et al., 2018).

Les bactéries pathogènes d'origine hydrique transportés par les eaux usées vers le sol sont responsables de la mort de 3 à 10 millions de personnes par an dans le monde (NANI et al., 2021).

Plusieurs études ont évalué les risques microbiens sur la santé qui arrivent de la réutilisation des eaux usées en qualité médiocre dans les activités agricoles. La plupart de ces études ont estimé le risque d'infection sur la base de la contamination microbienne transportées par l'eau usées sans enquête sur le devenir de micro-organismes pathogènes ou indicateurs sur le terrain. Bien que, l'étude des caractéristiques microbiologiques des eaux usées réutilisées en irrigation est très important pour évaluer les risques sanitaires associés. Plusieurs facteurs influencent potentiellement la charge microbienne des sols irrigués avec les eaux usées comme : la température, l'humidité, le taux de rayonnement ultraviolet, l'humidité et le pH du sol, l'antagonisme avec les micro-organismes indigènes du sol, la méthode d'irrigation, et enfin le type des cultures irriguées (Farhadkhani et al., 2018).

Les bactéries et les nématodes intestinaux indiqués par les normes Algériennes (Arrêté Interministériel, 2012) et les autres agents pathogènes ciblés dans les nouvelles normes Européennes (European Parliament and Council of the European Union, 2020), peuvent se trouver dans les eaux usées traitées dans le cas de la réutilisation en irrigation. En cas de dépassement des valeurs seuils, ils ont des effets très néfastes sur la santé publique et surtout les ouvriers en agriculture, le tableau 15 indique tous les agents pathogènes des eaux usées, aussi les Coli phages comme virus indicateurs des décontamination fécale (Paquette, 2004).

Tableau 15: les dégâts causés par les agents pathogènes des eaux usées sur la santé (Caroline, 2008; INRS, 2022; McClane, 2014; Nierenberg, 2011)

<b>AGENTS PATHOGENES DES EAUX USEES</b>	<b>MALADIE CAUSEE</b>
<i>E. Coli</i>	Diarrhée (Enterotoxine).
Nématodes intestinaux	• Malaises gastro-intestinaux.
<i>Coliphages totaux</i>	-
<i>Coliphages F-spécifiques</i>	
<i>Coliphages somatiques</i>	
Spores de <i>clostridium perfringens</i>	Diarrhée, Violents maux de ventre (McClane, 2014).
Bactéries anaérobies sulfito-réductrices	Actinomycose, Botulisme, Colite, Gangrène, Tétanos.
<i>Legionella spp</i>	Infections inapparentes, fièvre pseudo-grippale. Troubles respiratoires, maux de tête et diarrhée principalement.

**Conclusion**

Nous concluons d'après ce chapitre que les eaux usées traitées attirent beaucoup d'attention, surtout pour l'instant où il est nécessaire de chercher des nouvelles sources d'eau dans certaines manières utilisables pour les populations et l'agriculture particulièrement.

**CHAPITRE II**  
Gestion des eaux usées  
traitées dans la wilaya  
d'El-Oued

## **Introduction**

Malheureusement, des milliards de personnes dans le monde n'ont pas accès à des systèmes de traitement des eaux usées adéquats, ce qui entraîne le rejet de grands volumes d'eaux usées non traitées dans les eaux de surface. Près de 80 à 90 % de toutes les eaux usées générées dans les pays en développement sont rejetées directement dans les masses d'eau de surface. Il y a 2,6 milliards de personnes qui vivent sans moyens (Negm, 2019).

Pour faire face à la dégradation de l'environnement et à la rareté de l'eau, l'Algérie a pris conscience de l'urgence de la construction d'infrastructures de traitement des eaux usées. Parmi les stations d'épuration exploitées par Office National de l'Assainissement (l'ONA) à travers l'Algérie, certaines sont concernées par la réutilisation des eaux usées traitées (Negm and Chenchouni, 2020).

Dans ce chapitre, on décrit le processus de traitement des eaux usées à El-Oued, le nombre et les types de traitement adoptés dans la wilaya. Aussi les contraintes qui empêchent le projet de réutilisation des eaux usées dans le cadre de développement durable des ressources en eau.

## **II.1 Techniques locale de traitement des eaux usées**

### **II.1.1 Prétraitement**

Tout traitement de dépollution doit comporter ce qu'il est convenu d'appeler un prétraitement qui consiste en un certain nombre d'opérations mécaniques ou physiques destinées à extraire le maximum d'éléments dont la nature et la dimension constitueraient une gêne ultérieurement. Ces opérations sont : le dégrillage, le dessablage et le déshuilage (BOUHADI et al., 2021).

#### **II.1.1.1 Dégrillage**

Il permet de filtrer les objets ou les débris les plus grossiers véhiculés par les eaux usées. Son principe consiste à faire passer l'eau brute à travers des grilles composées de barreaux placés verticalement. Le choix d'espacement des barreaux de la grille est défini par la taille et la nature des déchets acceptés par la station d'épuration (Bouchentouf and Abdarrahoumane, 2021).

Au cours du dégrillage, les matières les plus volumineuses charriées par l'eau brute sont retenues, ces matières pourraient nuire à l'efficacité des traitements suivants ou compliquer leur exécution. Le dégrillage est réalisé par le passage des eaux usées à travers d'une grille caractérisée par l'écartement de ses barreaux, 30 à 100mm, 10 à 25mm, 3 à 10 mm pour un grillage grossier, moyen et fin respectivement. Les dégrilleurs assurent la protection des équipements électromécaniques et réduisent les risques de colmatage des conduites mises en place dans la station d'épuration (MAREF, 2020).

#### **II.1.1.2 Dessablage et déshuilage**

Le dessableur- déshuileur est installé à l'entrée de la station d'épuration en aval des grilles. Sa fonction est de protéger les équipements de traitement en éliminant le sable dans les eaux brutes. Le dessableur – déshuileur est du type rectangulaire aéré. L'aération a pour but de garder les matières organiques solides ou en suspension et permettre au sable de se décanter dans la chambre. Le sable décanté est pompé vers une aire d'égouttage avant leur transfert dans une benne par le classificateur. Les graisses flottantes en surface sont raclées ensuite vers le digesteur anaérobie. Un dimensionnement correct doit permettre d'éviter le dépôt des matières organiques, la vitesse d'entraînement recommandée pour cela varie entre 0,2m/s à 0,4m/s (Merzougui, 2017). Le processus de déshuilage trouve pas dans ne la station d'épuration de kouinine(ONA, 2021).

### **II.1.2 Traitement primaire (traitement physique)**

Le traitement « primaire » fait appel à des procédés physiques, avec décantation plus ou moins aboutie, éventuellement assortie de procédés physico-chimiques, tels que la coagulation-floculation (BOUHADI et al., 2021).

La décantation primaire classique comme se fait dans La station de Kouinine, consiste en une séparation des éléments liquides et des éléments solides sous l'effet de la pesanteur. Les matières solides se déposent au fond d'un ouvrage appelé « décanteur » pour former les « boues primaires ». Ce traitement élimine 50 à 55 % des matières en suspension et réduit d'environ 30 % la DBO et la DCO (Deutsch and Miquel, 2003).

L'utilisation d'un décanteur lamellaire permet d'accroître le rendement de la décantation. Ce type d'ouvrage comporte des lamelles parallèles inclinées, ce qui multiplie la surface de décantation et accélère le processus de dépôt des particules. Une décantation lamellaire permet d'éliminer plus de 70 % des matières en suspension et diminue de plus de 40 % la DCO et la DBO (BOUHADI et al., 2021).

La décantation est encore plus performante lorsqu'elle s'accompagne d'une floculation préalable. La coagulation-floculation permet d'éliminer jusqu'à 90 % des matières en suspension et 75 % de la DBO. Cette technique comporte une première phase d'adjonction d'un réactif, qui provoque l'agglomération des particules en suspension. Les amas de solides ainsi obtenus sont appelés « floes » (Deutsch and Miquel, 2003).

### **II.1.3 Traitement secondaire (épuration biologique)**

Le lagunage est un procédé d'épuration qui consiste à faire circuler des effluents dans une série de bassins pendant un temps suffisamment long pour réaliser les processus naturels de l'autoépuration. Ce traitement est pratiqué dans les régions très ensoleillées, dans des bassins de faible profondeur. Le rayonnement solaire est la source d'énergie qui permet la production de matières vivantes par les chaînes trophiques qui se trouve dans les bassins d'épuration (Ammar and Khalifa, 2020).

Le traitement par lagunage aéré (Figure 11) est constitué d'une série de bassins artificiels imperméables dans lesquels les eaux usées brutes passent par gravité d'un bassin à l'autre, pendant un temps de séjours précis par la station d'épurations selon certaines conditions, notamment le débit des eaux usées non traitée et leurs qualité s'entrant dans la station d'épuration (UNESCO, 2008).



Figure 11 bassins artificiels imperméabilisés dans le système de lagunage aéré (ONA, 2021).

Les techniques d'épuration biologique utilisent l'activité des bactéries dans l'eau. Ces bactéries dégradent la matière organique. Ces techniques peuvent être anaérobies, c'est-à-dire se déroulant en absence d'oxygène, ou aérobies nécessitant un apport en oxygène. Le lagunage est parmi les traitements biologiques extensifs (BOUKHALFA and KAFI, 2013) .

(Seidl and Mouchel, 2003) indique que, les bassins fonctionnent comme des écosystèmes avec des relations de symbiose entre les populations des bactéries, de champignons, de protozoaires, d'algues, de poissons. Tous ces différents organismes interviennent pour diminuer la charge polluante des eaux usées qui passent par les bassins. La partie d'eaux usées exposée à la lumière de soleil permet aux algues à produire l'oxygène (la photosynthèse) nécessaire pour le développement des bactéries aérobies qui sont responsable à leurs tours à la dégradation des matières organiques polluantes des eaux usées. Le gaz carboné formé par les bactéries, aussi les sels minéraux qui se trouvent dans les eaux usées permettent aux algues de se multiplier sans cesse lorsque les bassins de traitement reçoivent toujours de l'énergie solaire et de la matière organique.

Au fond, ou la lumière du soleil n'atteignent pas les profondeurs des bassins, les bactéries anaérobies dégradent les sédiments issus de la décantation de la matière organique. Ce processus dégage aussi le gaz carbonique et en adition le gaz de méthane. La lagunage est influencé fortement par les conditions météorologiques de la région (Racault et al., 2006).

(ONA, 2021) a dit que les bassins aérés de la station kouinine sont divisés en trois groupes. La résidence de l'eau dans les bassins aérés diffère d'un groupe à l'autre comme suit :

- Dans le premier groupe, l'eau reste 6 jours (Volume d'eau du bassin :  $66\,471\text{ m}^3$  / bassin)
- Dans le deuxième groupe, l'eau reste 4 jours (Volume d'eau du bassin :  $44\,368\text{ m}^3$  / bassin)
- Dans le troisième groupe, l'eau reste 3 jours (Volume d'eau :  $33\,270\text{ m}^3$  / bassin).

## II.2 Station de traitement des eaux usées à El-Oued

L'Office National de l'Assainissement (ONA) est un établissement public national responsable de l'épuration des eaux usées. Il a un caractère industriel et commercial jouissant de l'autonomie financière. Cette société a été créée par décret exécutif n° 01-102 du 27 Muharram 1422 correspondant au 21 avril 2001 sous la tutelle du ministère des ressources en eau.

Il y a également des réseaux distribués dans tout le pays, en particulier le démembrement de la wilaya d'El-Oued située dans la zone industrielle du El Shatt.

D'après l'(ONA, 2021), La station de kouinine située dans la commune de kouinine a été mise en service en 2009. Les eaux usées arrivant à la station proviennent des communes suivantes : kouinine, El-Oued, Al-Rabah et Al-Bayadah. Le choix de lieu de cette station est basé sur la situation topographique basse par rapport aux autres communes de wilaya. Sa superficie est de 100 hectares. La Figure12 présente le plan général pour le traitement dans la station de kouinine.

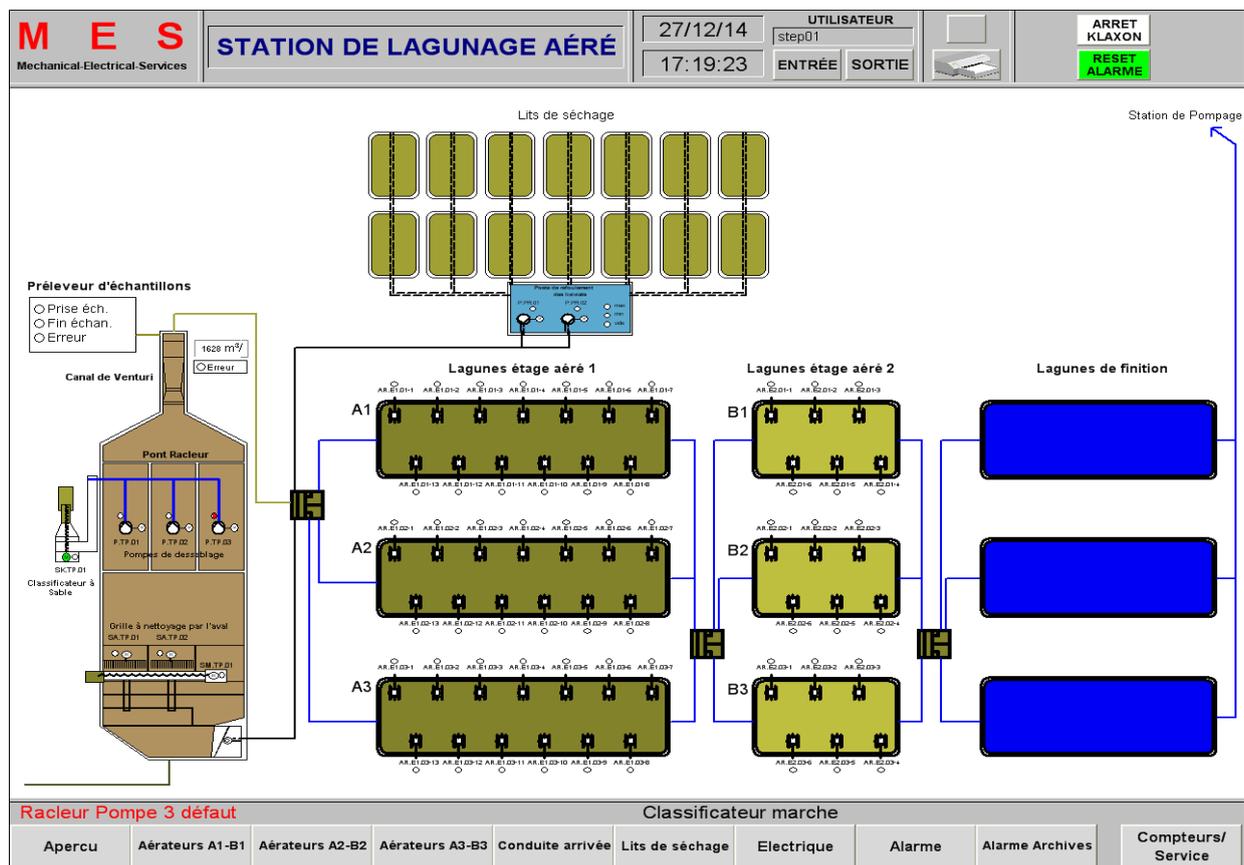


Figure 12: Plan général de la station de kouinine(ONA, 2021)

Les eaux usées de la wilaya d'El-Oued sont considérées domestiques. L'épuration se fait par 04 stations d'épuration utilisant la technique de lagunages aérées. La capacité totale de traitement est 368 711 Eq/h. Le volume d'eau usée pompé durant l'année 2021 est 60,33 millions/m3. Le long de réseau d'assainissement est 922 km. Le nombre des stations de relevage est 69(ONA, 2021).

Le drainage de tous les eaux d'irrigation vers la station de kouinine premièrement se réalisé par un réseau de drainage horizontal de 6.2 km et 50 forages pour le réseau de drainage vertical, avec 41 km de conduites de refoulement et une station de pompage principale.

Le transfert des eaux usées traitées vers le rejet final s'effectué par 47 km de conduite de transfert Sud-Nord (D800-D1000) et par 09 Cheminé d'équilibre.

L'assainissement autonome est aussi reste fonctionné en parallèle avec le lagunage aéré dans plusieurs zones non liées au réseau de raccordement, 542 fosses d'assainissement autonome à travers 04 communes dans la wilaya. La Figure 13 montre le réseaux d'assainissement dans la wilaya el oued.

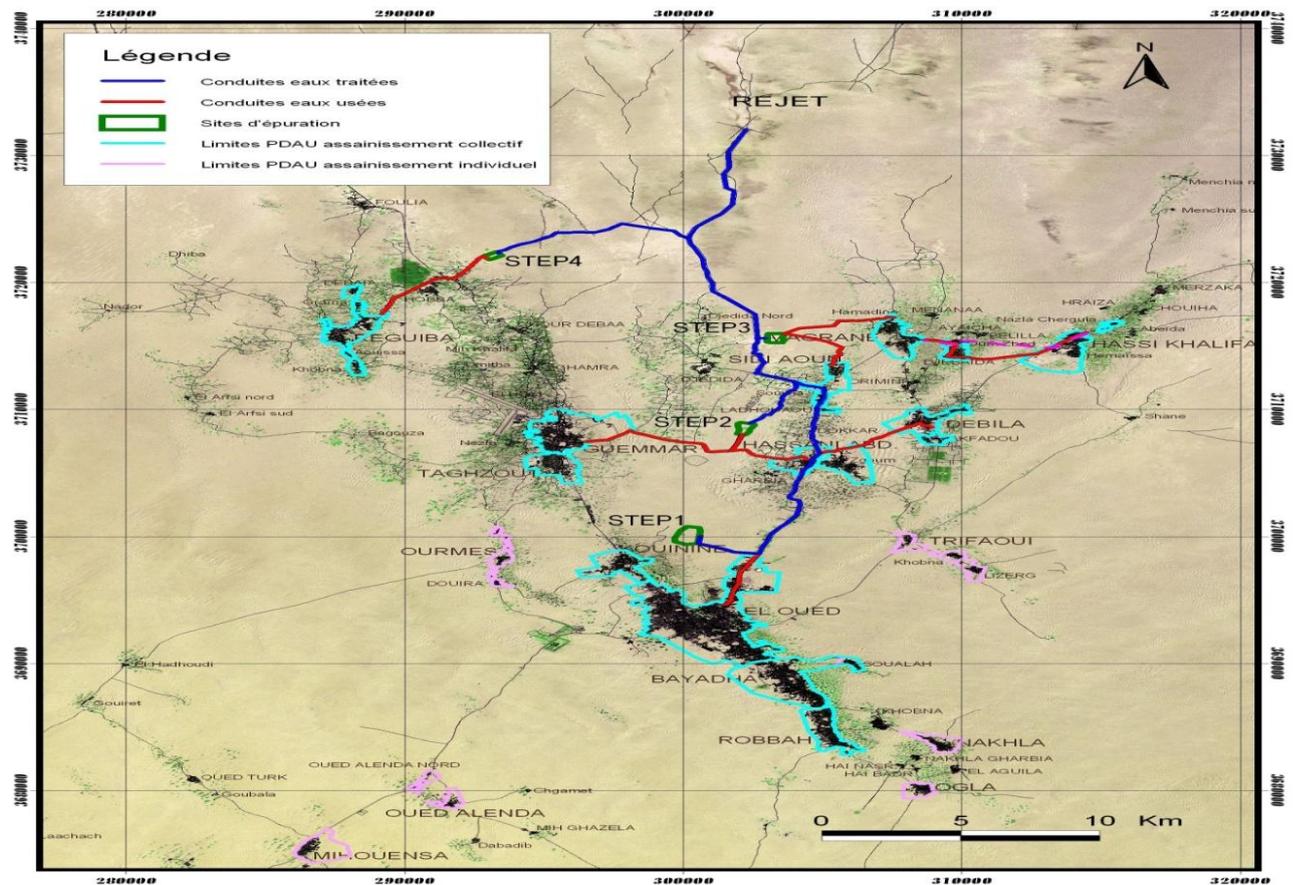


Figure 13: réseaux d'assainissement dans la wilaya el oued(ONA, 2021).

### II.3 Défis et problèmes rencontrés dans le traitement des eaux usées

Selon l(ONA, 2021), les défis de traitement rencontrés sont comme suit :

#### II.3.1 Réseau d'assainissement

- Les eaux usées brutes industrielles se rejette directement dans le réseau d'assainissement des eaux usées domestiques sans aucun traitement préalable.
- l'insuffisance des camions à citerne aspiratrice comme moyens nécessaires pour prendre en charge tous les points noirs dans le système d'assainissement autonome, aussi les 542 fosses sont éparées dans des différentes zones.

**II.3.2 Stations d'épuration**

- La quantité importante de sable qui rentre dans les ouvrages de prétraitement et dans les lagunes, ce qui gêne le processus de traitement. La quantité de sable extrait : 72 m<sup>3</sup>/jour.
- Le manque de plusieurs appareils d'analyses d'eau usée dans le laboratoire de station de traitement (Spectrophotomètre, Débitmètre, pompe de filtration...).
- Absence de déshuileurs pour le traitement des huiles qui rentrent dans la station de traitement.

**II.3.3 Drainage**

- L'arrêt de 32 forages de drainage vertical soit 68 % du nombre total à cause de défaillance de la conduite de transfert Sud-Nord.
- Le dommage de quelques tronçons du réseau de drainage horizontal soit 02 km.
- La défaillance au niveau de la conduite de transfert Sud-Nord minimise la capacité de cette conduite pour l'évacuation des eaux usées traitées, ce qui influe négativement sur le fonctionnement des systèmes en amont.
- La carence des ventouses et manque de maintenance pour ceux qui ont été faits avant.

**Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons appris les techniques utilisées pour collecter l'eau usées brutes et l'envoyer à la station d'épuration. Aussi, nous avons montré les méthodes de traitement des eaux usées dans la wilaya d'El-Oued.

Les principaux problèmes rencontrés par le processus de traitement des eaux usées sont : le volume quotidien d'eaux usées non traitées arrivant à l'usine de Quinine, il est souvent supérieur à sa capacité de traitement.

Ensuite, il y a l'absence d'un laboratoire bactériologique pour analyser, identifier et surveiller les agents pathogènes dans les eaux usées traitées.

# Partie pratique

## I. Matériels et Méthodes

### I.1 Présentation de la région d'étude

La wilaya d'El Oued se trouve au Sud-est de l'Algérie. Elle devint une commune depuis 1957, une wilaya depuis janvier 1984, ce découpage a pour but de faciliter les conditions de vie sociale, culturelle, professionnelle et de limiter les difficultés dues à l'isolement, aujourd'hui elle se repose sur une superficie égale à 45 738 km<sup>2</sup> divisé en 22 communes avec une population de 708221 habitants et une densité de 14.49 hab./km<sup>2</sup>, le taux d'accroissement de population égale à 3,4 % selon le recensement de l'ONS (Abidi and Touati, 2018).

Les limites de la Wilaya sont :

- Au nord, les wilayas de Tebessa, Khenchela et Biskra
- A l'ouest les wilayas d'El M'Ghair et de Touggourt
- Au sud la wilaya de Ouargla
- À l'est la Tunisie.

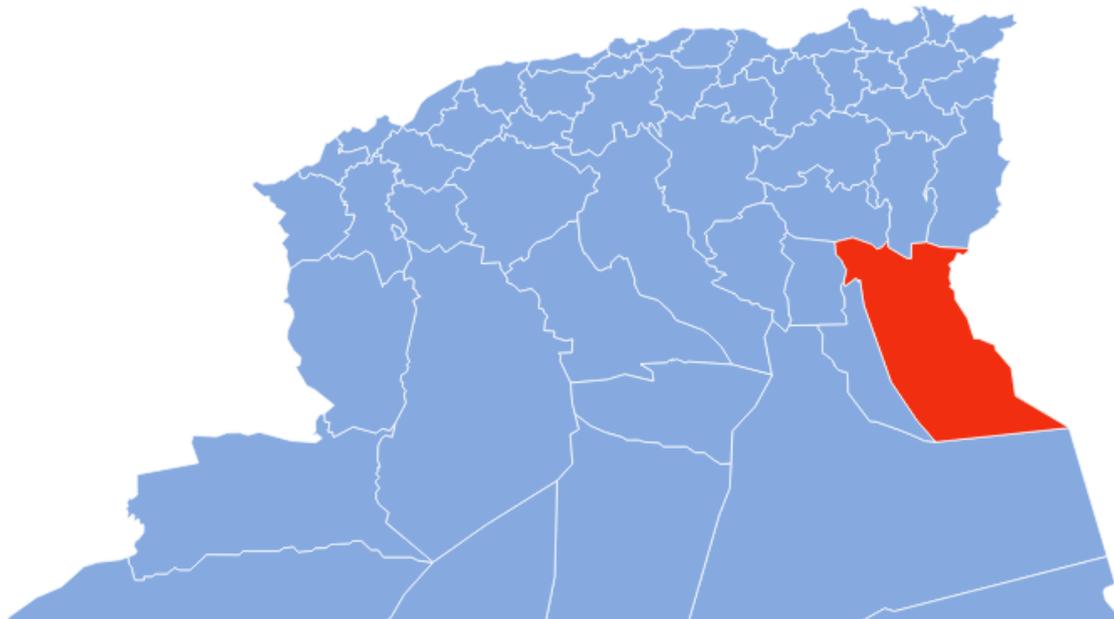


Figure 14: Localisation de la Wilaya d'El Oued(Wikipedia, 2019).

#### I.1.1 Climat de la région d'étude

Le climat est caractérisé par une aridité extrême. L'hyper aridité et la chaleur sont ses caractères essentiels (Boulifa, 2012).

Dans cette région saharienne la pluviosité est faible à cause du caractère d'aridité qui règne sur tout le Sahara Algérien. Du nord vers le sud le gradient pluviométrique est décroissant, dans le nord du Sahara : 100 mm et atteint au sud jusqu'à 15 ou 10 mm(Boulifa, 2012).

### I.1.2 Caractères pédologiques

Le sol d'El- Oued prend deux aspects dont le plus dominant est l'ensemble dunaire qui est constitué par de grandes accumulations sableuses, tandis que l'autre partie est caractérisée par une superficie caillouteuse avec des croutes gypseuses entourées par de hautes dunes (Ghroud), qui leur donnent aussi une forme de cratère, alors qu'à l'Ouest, on trouve la Tefza constituée essentiellement par du carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ). En outre selon Voisin (2004), le sable de la région est constitué essentiellement de silice (40 à 60%), de gypse (10 à 40%), de calcaire (2 à 20 %) et d'une très faible proportion d'argile (0 à 5%) (BEN DOYEM, 2015).

### I.1.3 Hydrogéologie

La région dort sur les plus grands stocks d'eaux souterraines situées dans trois niveaux différents ; le plus important pour le secteur d'agriculture est le premier niveau qui s'appelle nappes phréatiques. Cette eau a été utilisée par les premiers agriculteurs dans la création de l'oasis par la technique de Ghout. El-Oued est caractérisée par les nappes souterraines suivantes : nappe phréatique, nappe du complexe terminal (C.T) et nappe du continental intercalaire (C.I) (Mammeri and Laib, 2019).

## I.2 Méthode d'échantillonnage

### I.2.1 Eau

Comme présenté par la Photo 01, trois types d'eau ont été prélevés : eaux usées brutes, eaux usées traitées et eaux de forage, la répétition de prélèvement d'échantillonnage est 06 fois différents, chaque semaine de mois Février jusqu'au mois de Mai selon la possibilité de réalisation des échantillonnages. Donc  $n=06$ . Ces échantillons ont ensuite été transportés aux différents laboratoires étatiques et privés pour les analyses requises.

Le transport et la conservation d'échantillons ont été effectués de telle sorte que la composition de l'eau ne soit pas modifiée à son arrivée aux laboratoires. Il est important que l'eau ne subisse pas de variation de température susceptible de modifier le résultat d'analyse.



A. Bendjerba T. Saighi, 2022

Photo 1: eaux analysées : eaux usées non traitées, eaux usées traitées et eau de forage

### I.2.2Sol

les échantillons de sol ont été pesés, environ 800 g pour chaque prélèvement: sol non irrigué, sol irrigué avec de l'eau forage et sol irrigué avec l'eau usée traitée. Selon la Figure 2, les échantillons ont été prélevés à 4 profondeurs (0-4 cm, 0-20 cm, 20- 40 cm, 40-60cm). Ensuite, (voire Figure3) les échantillons sont séchés à l'air libre et tamisée à 2 mm, après ils sont transportés dans des sacs cartonnés au laboratoire pour l'analyse physico-chimique. Le nombre totale des échantillons est 12, donc  $n=12$ .

L'échantillon de sol non irrigué comme témoin a été prélevé le : 21/03/2022.

L'échantillon de sol irrigué avec l'eau traitée a été prélevé le : 10/03/2022.

L'échantillon de sol irrigué par l'eau de forage a été prélevé le 21/03/2022.



A. Bendjerba T. Saighi, 2022

Photo 1: étiquetage, stockage et conservation des échantillons de sol



A Bendjerba T. Saighi, 2022

Photo 3 Prélèvement des échantillons de sol selon différentes profondeurs

### I.3 Choix de zone d'échantillonnage

L'étude a été installée à El-Oued exactement dans la zone de Kouinine pour tester les effets de l'irrigation par eaux usées traitées sur le sol sableux de la wilaya.

Nous avons choisi la commune de Kouinine parce que les eaux usées traitées et le sol irrigué avec ces eaux se trouvent uniquement dans la station d'épuration de Kouinine où les eaux usées traitées sont réutilisées dans la station. Elles sont transportées directement vers le rejet final à « chott Hallofa » or de la ville d'El-Oued après le traitement.

La zone de prélèvement d'échantillons d'eau du forage et de sol irrigué par eau de forage est proche de la station d'épuration où il y a les mêmes propriétés édaphiques du sol irrigué par l'eau de forage.



Photo2: Zone d'échantillonnage(Google earth, 2022)

**I.4 Matériel Utilisé**

On a utilisé différents appareils et instrument pour nos analyses de recherche, les Photos 6 jusqu'au 9 présentent quelques appareils et outils analytiques exploités.

Les tableaux suivants montrent les paramètres, les appareils, et les méthodes d'analyses qu'on a suivi pour l'analyse de l'eau et de sol.

**I.4.1 Analyse de sol**

Paramètre	Appareil	Méthode de travail
<b>Analyse physique</b>		
pH	pH-mètre	NF ISO 1039
Conductivité électrique	Conductimètre	NF ISO 1039
<b>Dosage des cations solubles</b>		
Na <sup>+</sup>	Spectrophotomètre à flammes	ISO 9964
K <sup>+</sup>	Spectrophotomètre à flammes	ISO 9964
Ca <sup>+2</sup>	Titration	ISO 6058
NH <sub>4</sub>	Spectrophotomètre UV-Visible	ISO 5664
PO <sub>4</sub>	Spectrophotomètre UV-Visible	NF X 31-161
Mg <sup>+2</sup>	Titration	ISO 6059
<b>Dosage des Anions solubles</b>		
HCO <sup>-3</sup>	Titration	NF T0-036
Cl <sup>-</sup>	Titration	NF T 90 - 014
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Spectrophotomètre UV-Visible	Méthode Allemande
CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	Titration	NF T90-011

**I.4.2 Analyse de l'eau**

Paramètre	Appareil	Méthode de travail
<b>Analyse physique</b>		
pH	pH-mètre	NF T90-008
Conductivité électrique	Conductimètre	NF T90-031
<b>Dosage des cations solubles</b>		
Na <sup>+</sup>	Spectrophotomètre à flammes	ISO 9964/3
K <sup>+</sup>	Spectrophotomètre à flammes	ISO 9964/3
Ca <sup>+2</sup>	Titration	ISO N° 6058
NH <sub>4</sub>	Spectrophotomètre UV-Visible	ISO N° 7150
PO <sub>4</sub>	Spectrophotomètre UV-Visible	ISO N° 6878
Mg <sup>+2</sup>	Titration	NF T90-003
<b>Dosage des Anions solubles</b>		
HCO <sup>-3</sup>	Titration	NF T0-036
Cl <sup>-</sup>	Titration	NF T 90 - 014
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Spectrophotomètre UV-Visible	Méthode Allemande
CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	Titration	NF T90-011
<b>Analyse pour les eaux usées uniquement</b>		
DCO	Spectrophotomètre UV-Visible	ISO 6060
DBO <sub>5</sub>	Bouteille pour DBO <sub>5</sub> , Oxitop et Pastilles d'hydroxyde de potassium	ISO 5813

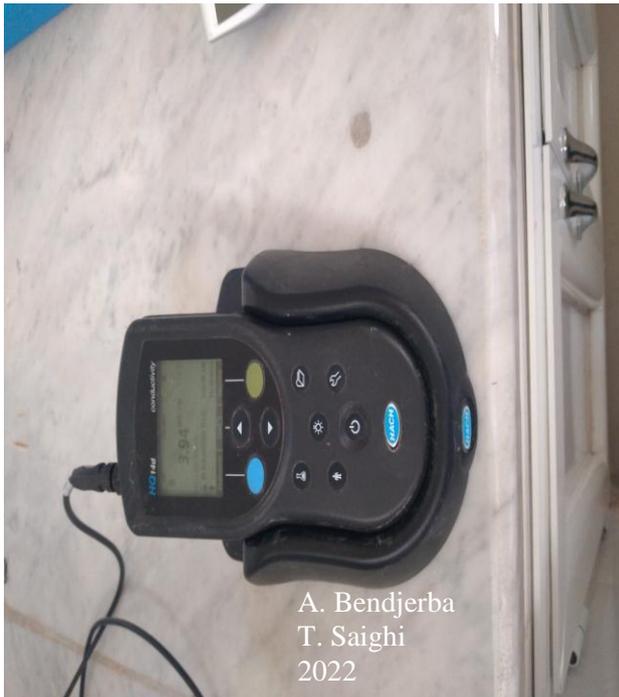


Photo4: Conductimètre utilisé dans les analyses

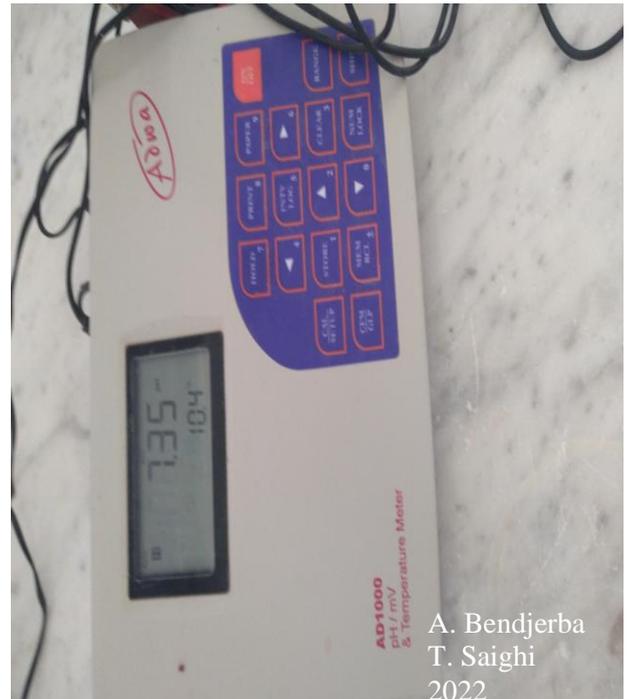


Photo3: pH-mètre utilisé dans les analyses



Photo5: Spectrophotomètre à flamme utilisé dans les analyses



Photo6: Spectrophotomètre UV-Visible utilisé dans les analyses



Photo7: filtration des solutions de sol analysé

### **I.5 Analyses d'eau et de sol**

La préparation des échantillons pour l'analyse est réalisée au niveau de laboratoire de département d'agronomie de l'université d'El-Oued.

L'ensemble d'analyses physico-chimiques d'eau usée traitée et brute, l'eau de forage et aussi le sol sont effectués au : laboratoire de l'Algérienne des eaux (ADE) ,laboratoire de contrôle de qualité et de conformité -fatilab, et Laboratoire de la repression des fraudes opérationnels d'El-Oued.

Les paramètres de : DBO, DCO,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{PO}_4$ , OD, et MES sont réalisés au niveau de laboratoire d'analyse de L'ONA a Kouinine.

On a évalué la fiabilité de lagunage aéré comme une méthode de traitement au niveau de la station de kouinine par l'analyse de sol d'irrigué avec les eaux usées traitées en comparaison avec les sols irrigués par l'eau de forage. Pour valider ce travail, on a aussi analysé les eaux utilisées dans l'irrigation de nos sols étudiés.

## **II. Résultats et Discussion**

## II.1 Résultats d'analyse de sol

Dans cette partie de résultat et discussion, on a essayé de décrire notre résultat analytique en utilisant des histogrammes pour chaque paramètre étudié, les analyses ont été faites au niveau de la solution du sol.

Dans nos résultats d'étude, on a la même vision de Zala c'ain et al. (2019), qui ont constaté que l'étude de réponses de la salinité du sol à l'irrigation avec des eaux usées traitées est devenue très importante pour le secteur agricole.

La salinité des sols est identifiée à partir de la composition ionique de la solution du sol. Certains sols possèdent en effet une phase liquide très riche en sels dissous qui leur confère des propriétés souvent défavorables, en particulier à l'égard des plantes qui y vivent (TERCHI, 2014).

Cependant, certains facteurs peuvent également affecter l'accumulation de sel dans le sol et le rendement des cultures, tels que les méthodes d'irrigation, les systèmes d'irrigation et la nature d'eau d'irrigation (Gao et al., 2021)

On a trouvé que l'irrigation avec des eaux usées a augmenté la concentration de sodium échangeable. On a montré que les terrains de golf irrigués avec des eaux usées traitées ont des taux de conductivité électrique (EC) et d'adsorption de sodium (SAR) plus élevés que ceux irrigués avec de l'eau fraîche.

Notre résultat est similaire au résultat de (Muyen et al., 2011), où le sol irrigué avec des eaux usées traitées et situé dans les régions qui ont une forte demande d'évaporation et faibles précipitations naturelles, a une forte tendance à accumuler des sels. La salinité du sol a une tendance à s'accumuler dans tout le profil du sol, c'est-à-dire toutes les profondeurs de sol.

Les figures ci-dessous numérotées 15 jusqu'à 27 présentent notre résultat en détail pour les sols analysés.

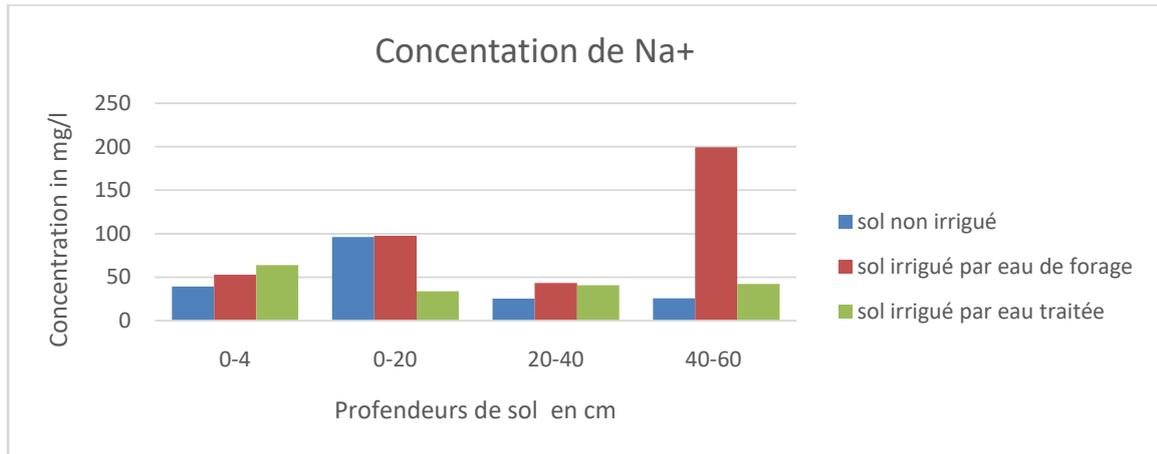


Figure 15: Concentration de Na<sup>+</sup> dans les deux types d'irrigation dans le sol

L'analyse comparative d'évolution de concentration de Na<sup>+</sup> présentée par la Figure 15 en fonction de la variation de différentes profondeurs dans les trois types de sol : sol non irrigué, sol irrigué par l'eau de forage et sol irrigué par l'eau traitée, montre que :

Profondeur 0 à 4 cm : la concentration est plus élevée dans le sol irrigué par l'eau traitée, elle est moins élevée par rapport à un sol irrigué par l'eau de forage et faible dans un sol non irrigué.

Profondeur 0 à 20 cm : la concentration de Na<sup>+</sup> est presque la même dans le sol irrigué par l'eau de forage et sol non irrigué. Elle devient 33.88 mg/l dans le sol irrigué par l'eau usée traitée.

Profondeur 20 à 40 cm : la concentration est de 43.368 mg/l dans le sol irrigué par l'eau de forage. Elle est similaire dans le sol irrigué par l'eau usée traitée. Un faible pourcentage de Na<sup>+</sup> est noté dans le sol non irrigué.

Profondeur 40 à 60 cm : la concentration de Na<sup>+</sup> dans le sol irrigué par l'eau de forage est très élevée par rapport au sol irrigué par l'eau traitée.

On remarque que l'irrigation par eau usée traitée augmente la concentration de Na<sup>+</sup> au niveau de la couche superficielle (0-4 cm) du sol.

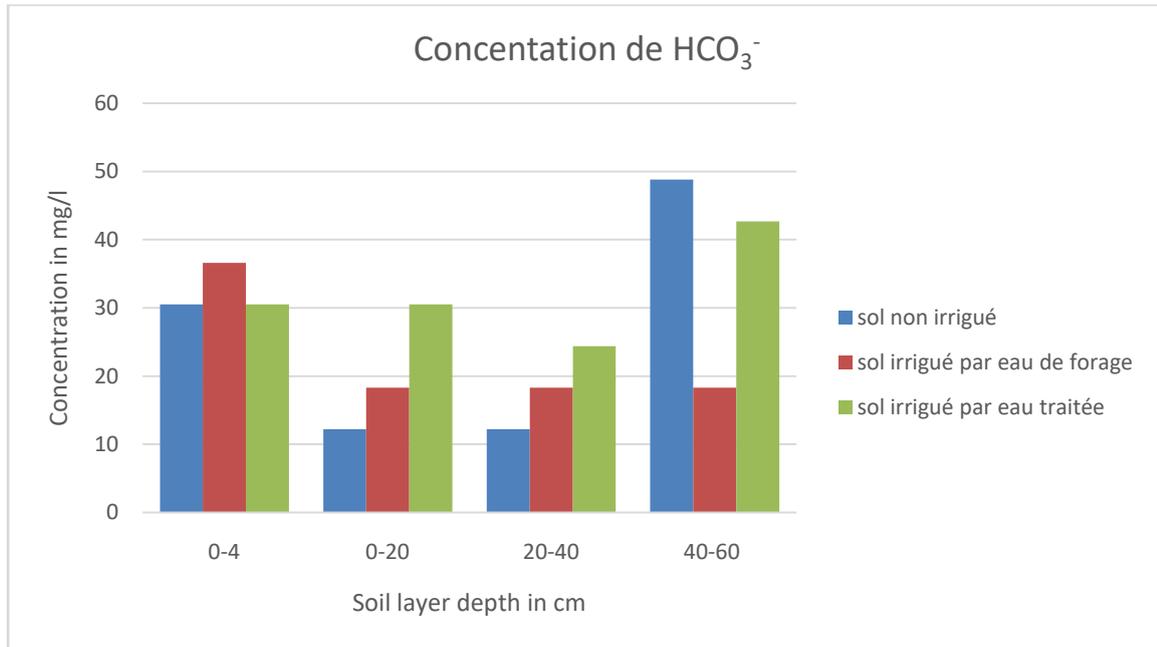


Figure 16: Concentration de  $\text{HCO}_3^-$  dans les deux types d'irrigation dans le sol

D'après la figure 16, on peut noter que :

Profondeur 0 à 4cm : la concentration est plus élevée dans le sol irrigué par l'eau de forage par rapport aux au sol irrigués par l'eau usée traitée.

Profondeur 0 à 20cm : la concentration de  $\text{HCO}_3^-$  dans le sol irrigué par l'eau traitée est élevé par rapport au sol irrigué avec de l'eau forage et au sol non irrigué.

Profondeur 20 à 40cm : la concentration est élevé dans un sol irrigué par l'eau traitée par rapport au sol irrigué avec de l'eau de forage et au sol non irrigué.

Profondeur 40 à 60cm : la concentration de  $\text{HCO}_3^-$  dans le sol non irrigué est élevé par rapport au sol irrigué avec de l'eau usée traitée. Elle est faible dans le sol irrigué avec l'eau de forage.

On remarque que l'irrigation par l'eau usée traitée augmente la concentration de  $\text{HCO}_3^-$  au niveau des profondeurs (0-20cm, 20-40cm, 40-60 cm) par rapport au sol irrigué par eau de forage.

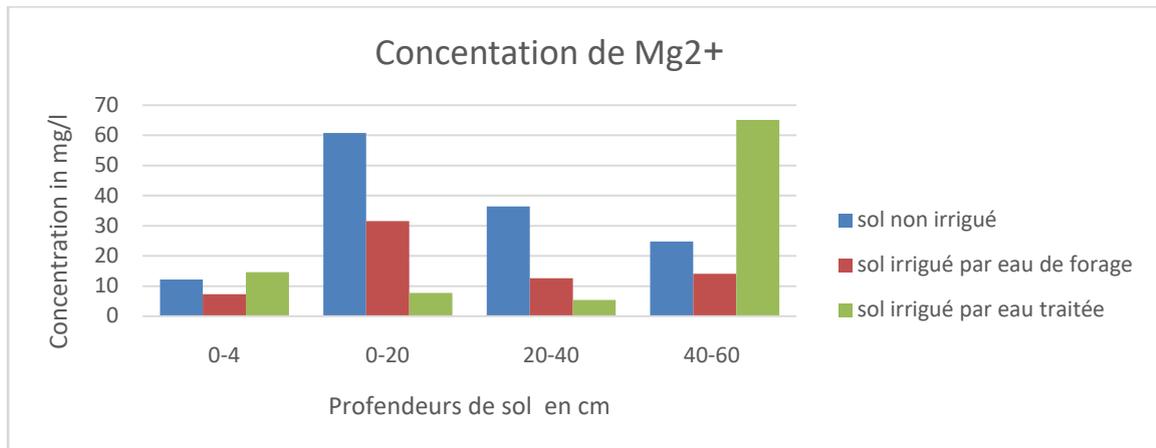


Figure 17: Concentration de Mg<sup>2+</sup> dans les deux types d'irrigation dans le sol

Dans la figure 17 nous remarquons ce qui suit :

Profondeur 0 à 4cm : La concentration de Mg<sup>2+</sup> où le sol est irrigué par l'eau usée traitée est faiblement élevé par rapport au sol irrigué par eau de forage.

Profondeur 0 à 20cm : la concentration de Mg<sup>2+</sup> a diminué dans le sol irrigué en eau traitée par rapport au sol irrigué par eau de forage.

Profondeur 20 à 40cm : la concentration de Mg<sup>2+</sup> a baissé par rapport aux sols irrigués par l'eau de forage.

Profondeur 40 à 60cm : Dans le sol irrigué par l'eau usée traitée, la concentration devienne très élevé par rapport au sol irrigué par l'eau de forage.

On remarque que la concentration de Mg<sup>2+</sup> a augmenté dans le sol irrigué par les eaux usées traitées dans la profondeur (40-60 cm), en comparaison avec les sols irrigués avec de l'eau de forage.

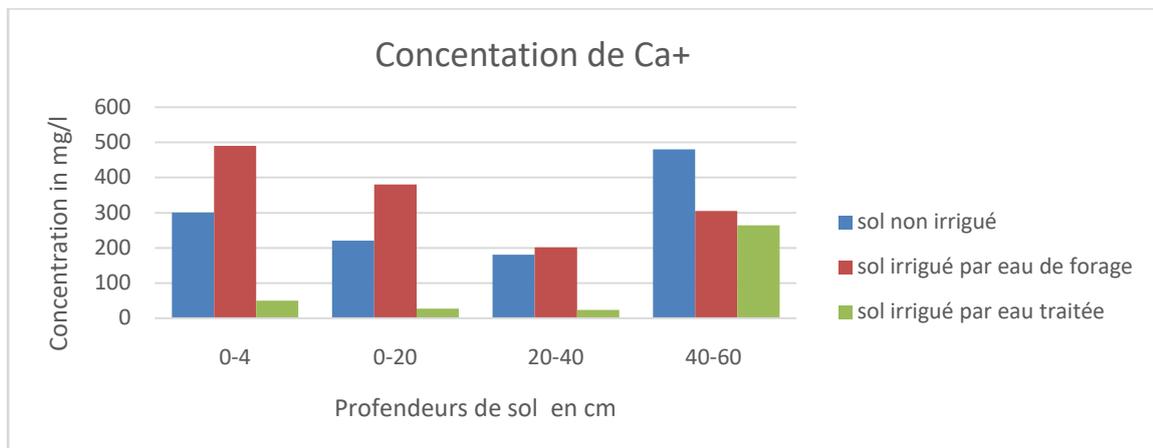


Figure 18: Concentration de Ca<sup>+</sup> dans les deux types d'irrigation dans le sol

Les résultats d'analyse de sol exposées dans la figure 18 a prouvé que :

Profondeur 0 à 4cm : Dans le sol irrigué par l'eau de forage, la concentration de Ca<sup>+</sup> est extrêmement élevée par rapport au sol irrigué par l'eau traitée.

Profondeur 0 à 20cm : la concentration de Ca<sup>+</sup> est élevée dans le sol irrigué par l'eau de forage par rapport au sol non irrigué. Elle a chuté dans le sol irrigué avec l'eau usée traitée.

Profondeur 20 à 40cm : Les concentration de Ca<sup>+</sup> sont presque les même dans les deux sol non irrigué et irrigué par eau de forage. Cependant, cette concentration est très abaissée dans le sol irrigué par l'eau usée traitée.

Profondeur 40 à 60cm : la concentration de Ca<sup>+</sup> est naturellement élevé dans le sol non irrigué. Le sol irrigué par l'eau de forage contient presque la même concentration de Ca<sup>+</sup> trouvée dans le sol irrigué avec l'eau usée traitée.

On remarque que le sel de Ca<sup>+</sup> se trouve naturellement dans le sol de la région. Et aussi dans les eaux souterraines de la nappe.

Le taux de Ca<sup>+</sup> est très faible après l'irrigation de sol par eaux usées épurée dans la croute et les 02 premiers profondeurs. Donc ces eaux n'ont pas un danger de salinité arrivé de Ca<sup>+</sup>.

L'irrigation a un rôle très important dans diminution de la concentration de Ca<sup>+</sup> dans le sol.

L'irrigation par l'eau usée traitée affecte directement le taux calcium dans le sol.

L'irrigation par l'eau usée traitée transporte le sel de Ca<sup>+</sup> vers les profondeurs de sol sableux.

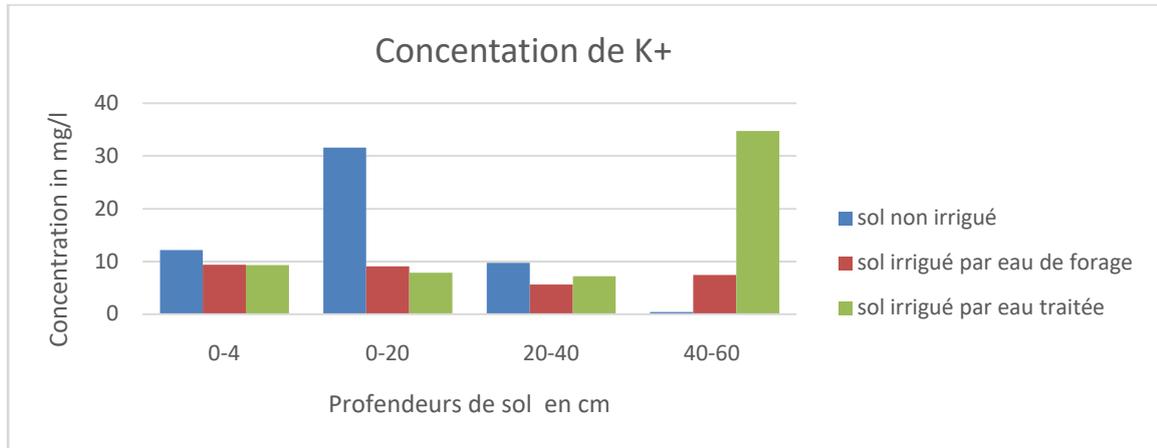


Figure 19: Concentration de K<sup>+</sup> dans les deux types d'irrigation dans le sol

L'analyse comparative d'évolution de concentration de K<sup>+</sup> dans le sol irrigué est présentée par la Figure 19. En fonction de la variation de différentes profondeurs dans les trois types de sol on peut conclure que :

Profondeur 0 à 4cm : Dans la partie superficielle du sol les concentrations de potassium sont relativement similaires dans tous les sols.

Profondeur 0 à 20cm : Dans le sol non irrigué, la concentration de K<sup>+</sup> est plus haute par rapport aux sols irrigués par l'eau usée traitée, et sol irrigué par l'eau de forage.

Profondeur 20 à 40cm : Dans le sol non irrigué, la concentration de K<sup>+</sup> est approximativement semblable aux sols irrigués par l'eau usée traitée et par l'eau de forage.

Profondeur 40 à 60cm : La concentration est élevée dans les sols irrigués par l'eau traitée par rapport au sol irrigué avec l'eau de forage.

On remarque que dans le sol irrigué par des eaux usées traitées, la concentration en potassium augmente en profondeur (40- 60 cm).

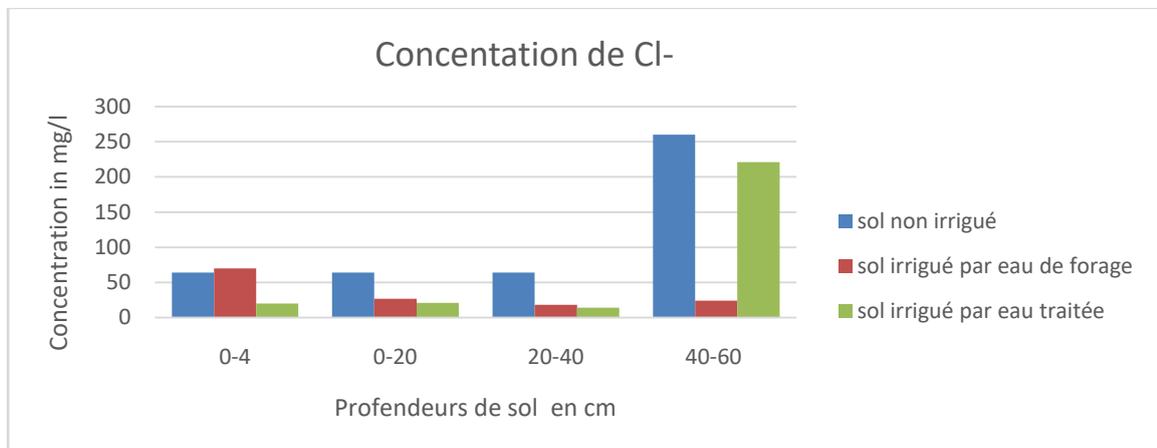


Figure 20: Concentration de Cl<sup>-</sup> dans les deux types d'irrigation dans le sol

D'après la figure 20 qui présente les concentrations de  $\text{Cl}^-$  dans le sol de différente source d'irrigation, nous remarquons que :

Profondeur 0 à 4cm : La concentration est abaissée dans le sol irrigué par l'eau usée traitée par rapport au sol irrigué par eau de forage. Cette concentration dans le sol non irrigué est de 63.81mg/l.

Profondeur 0 à 20cm : Dans les sols non irrigués, la concentration est plus haute. Dans le sol irrigué par l'eau de forage elle est de 27mg/l, presque la même concentration pour le sol irrigué par l'eau usée traitée.

Profondeur 20 à 40cm : La concentration est similaire dans les sols irrigués par différents types d'eau.

Profondeur 40 à 60cm : Dans le sol non irrigué et irrigué par l'eau usée traitée, la concentration est importante. Elle est de 24 mg/l dans les sols irrigués par l'eau de forage.

On remarque que le  $\text{Cl}^-$  est élevé dans le sol irrigué par des eaux usées traitées.

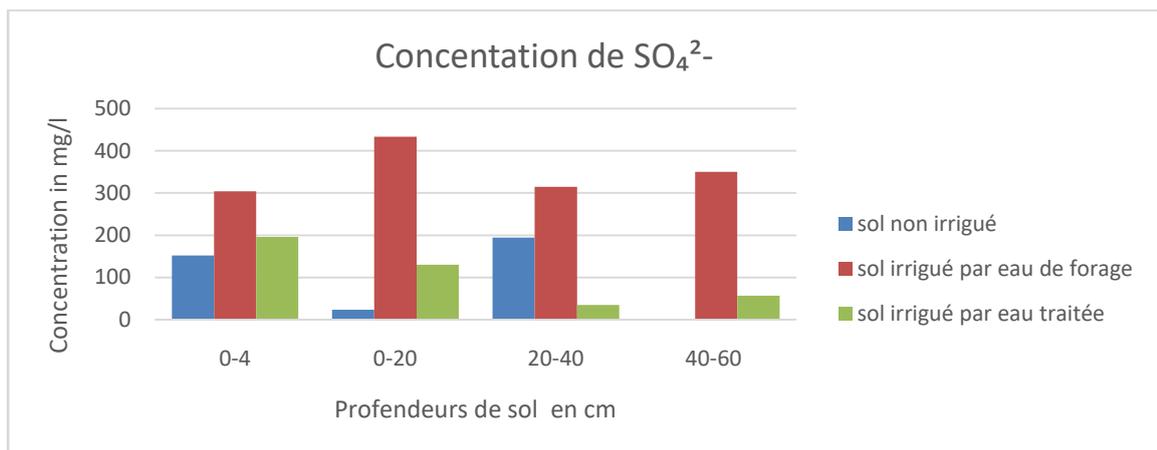


Figure 21: Concentration de  $\text{SO}_4^{2-}$  dans les deux types d'irrigation dans le sol

L'analyse comparative de concentration de  $\text{SO}_4^{2-}$  présentée par la Figure 21 en fonction de la variation de différentes profondeurs montre que :

Profondeur 0 à 4cm : Dans le sol irrigué par l'eau de forage, la concentration est élevée par rapport au sol irrigué par l'eau usée traitée.

Profondeur 0 à 20cm : La concentration est très grande dans le sol irrigué par eau de forage par rapport aux sols irrigués par eau usée traitée.

Profondeur 20 à 40cm : Dans le sol irrigué par l'eau de forage, la concentration est très élevée par rapport au sol irrigué par eau usée traitée.

Profondeur 40 à 60cm : La concentration est très basse dans le sol non irrigué par rapport au sol irrigué par eau usée traitée.

On remarque que le sel de  $\text{SO}_4^{-2}$  est présent dans toutes les profondeurs du sol irrigué par l'eau de forage en grande concentration. Dans le cas d'irrigation par l'eau usée traitée, le sel est moins concentré dans la croûte.

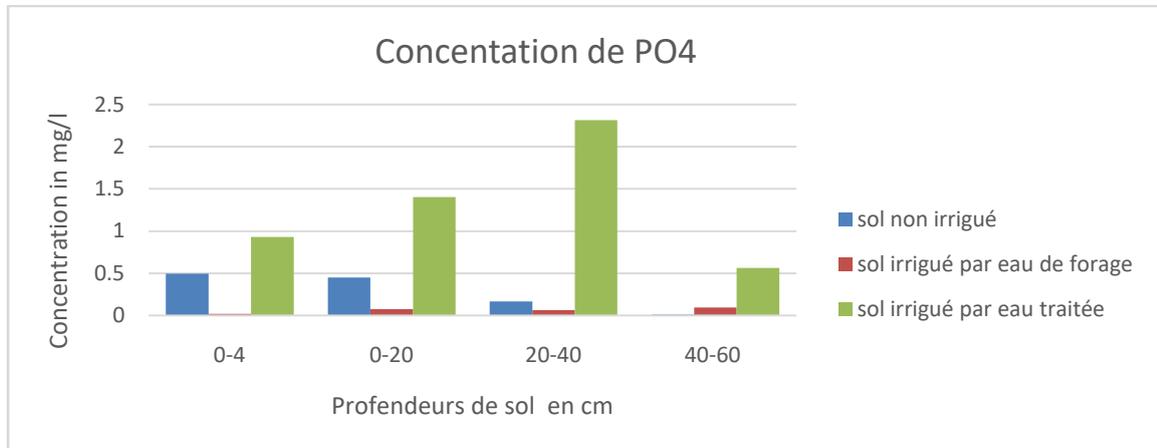


Figure 22: Concentration de  $\text{PO}_4$  dans les deux types d'irrigation dans le sol

À travers les graphiques présentés par la figure 22 on observe que :

Profondeur 0 à 4cm : dans le sol irrigué par l'eau usée traitée, la concentration est augmentée par rapport au sol irrigué par eau de forage. Le sol non irrigué a une concentration de 0.497mg/l.

Profondeur 0 à 20cm : la concentration est très élevée dans le sol irrigué par l'eau usée traitée par rapport au sol irrigué par eau de forage.

Profondeur 20 à 40cm : dans le sol irrigué par l'eau de forage, la concentration est très faible par rapport au sol irrigué par l'eau usée traitée.

Profondeur 40 à 60cm : la concentration est très diminuée dans le sol non irrigué par rapport au sol irrigué par l'eau de forage. Elle est élevée dans le sol irrigué avec l'eau usée traitée.

On remarque une augmentation remarquable de  $\text{PO}_4$  dans le sol irrigué par les eaux usées traitées. Le  $\text{PO}_4$  se trouve en faible concentration dans le sol irrigué par l'eau de forage.

Le  $\text{PO}_4$  qui se trouve en grande quantité dans les eaux usées traitées peut jouer un rôle principal et très important pour le développement des cultures irriguées.

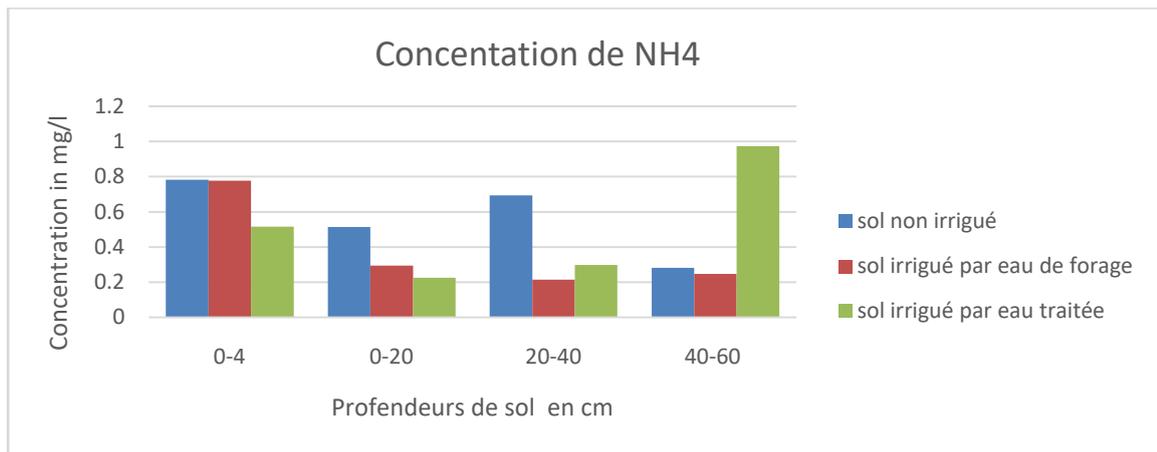


Figure 23 Concentration de  $\text{NH}_4$  dans les deux types d'irrigation dans le sol

D'après la figure 23 on peut noter que :

Profondeur 0 à 4cm : dans le sol irrigué par l'eau traitée, la concentration est diminuée par rapport au sol irrigué par l'eau de forage.

Profondeur 0 à 20cm : la concentration est forte dans le sol non irrigué par rapport au sol irrigué par l'eau de forage et au sol irrigué par l'eau usée traitée.

Profondeur 20 à 40cm : pour le sol irrigué par l'eau usée traitée, la concentration est approximativement similaire au sol irrigué par l'eau de forage.

Profondeur 40 à 60cm : la concentration est très haute dans le sol irrigué par l'eau usée traitée par rapport au sol non irrigué et au sol irrigué par l'eau de forage.

On remarque que  $\text{NH}_4$  se trouve en grande concentration au niveau de la profondeur 40-60 cm dans le sol irrigué par l'eau usée traitée.

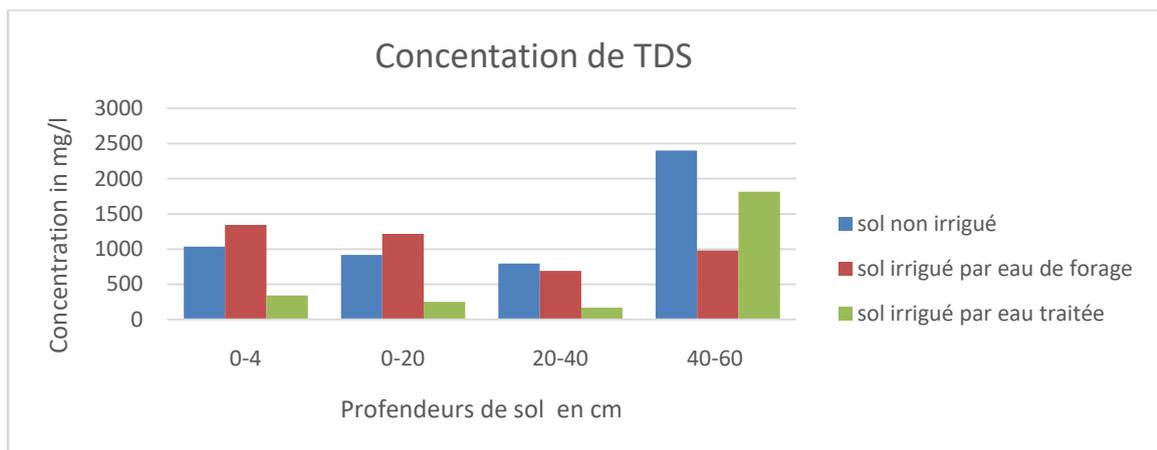


Figure 24: Concentration de TDS dans les deux types d'irrigation dans le sol

D'après l'étude d'analyse de TDS dans la solution de sol de différentes profondeurs présentée par la Figure 24 elle montre que :

Dans tous les profondeurs premiers profondeurs, les concentrations de TDS sont élevés dans le sol irrigué par eau de forage.

Les solides dissous sont diminués dans le sol irrigué par l'eau usée traitée dans les 03 premières profondeurs.

Profondeur 40 à 60cm : la concentration est grande dans les sols sans ou avec irrigation.

On observe que le TDS est élevé dans les sols non irrigués et irrigués avec les eaux de forage.

Le niveau de TDS est diminué dans le cas d'irrigation par l'eau usée traitée.

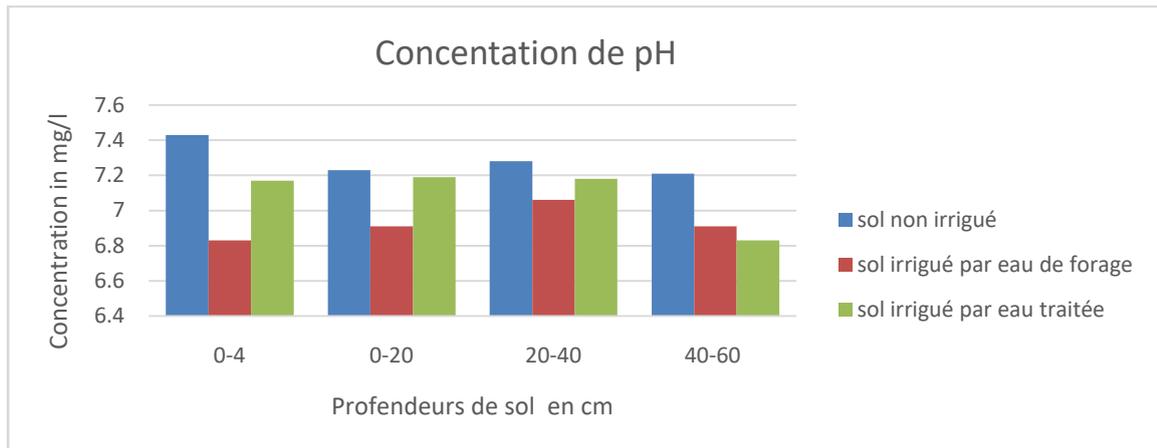


Figure 25: concentration de pH dans les deux types d'irrigation dans le sol

À travers les graphiques représentés sur la figure 25 On remarque que dans tous les profondeurs le sol sont neutre. Il est légèrement acide dans le sol irrigué par l'eau de forage.

On remarque que la valeur du pH est similaire à toutes les profondeurs dans le sol non irrigué et irrigué.

L'irrigation avec les eaux usées traitées ne change pas l'acidité de sol, elle est relativement similaire au niveau des profondeurs (0-4) (0-20) (20-40) cm.

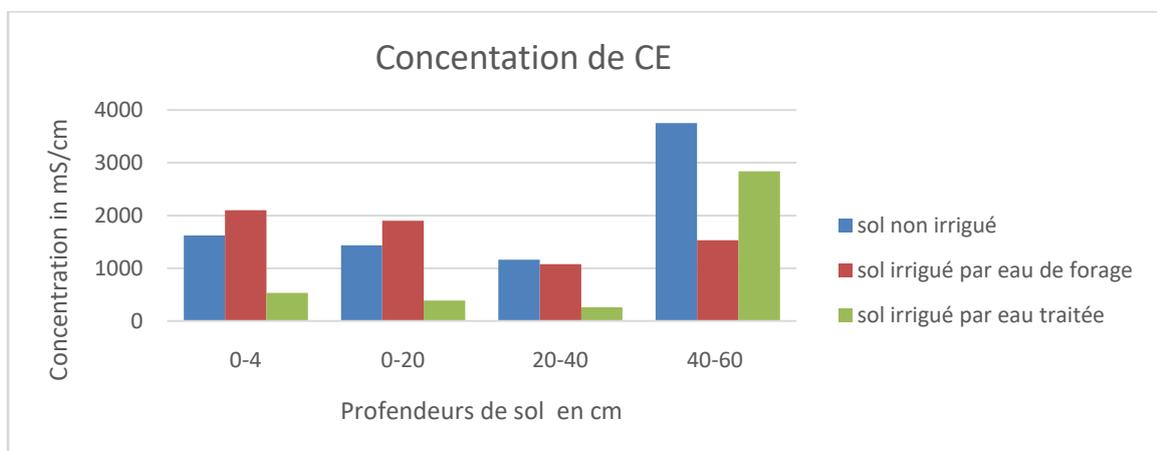


Figure 26: concentration de conductivité électrique dans les deux types d'irrigation dans le sol

Dans la figure 26 nous remarquons ce qui suit :

Profondeur 0 à 4cm : la CE dans croûte de sol est très élevée, avant l'irrigation et après l'irrigation avec l'eau forage. Par rapport aux sols sol irrigué par l'eau usée traitée la CE a diminué.

On a les mêmes observations concernant les profondeurs 0 à 20 cm et 20 à 40 cm.

Profondeur 40 à 60cm : la CE est très élevée dans les sols non irrigués par rapport aux sols irrigués par l'eau usée traitée, elle est abaissée dans les sols irrigués par l'eau de forage.

On remarque que la conductivité électrique est plus élevée en profondeur (40-60cm).

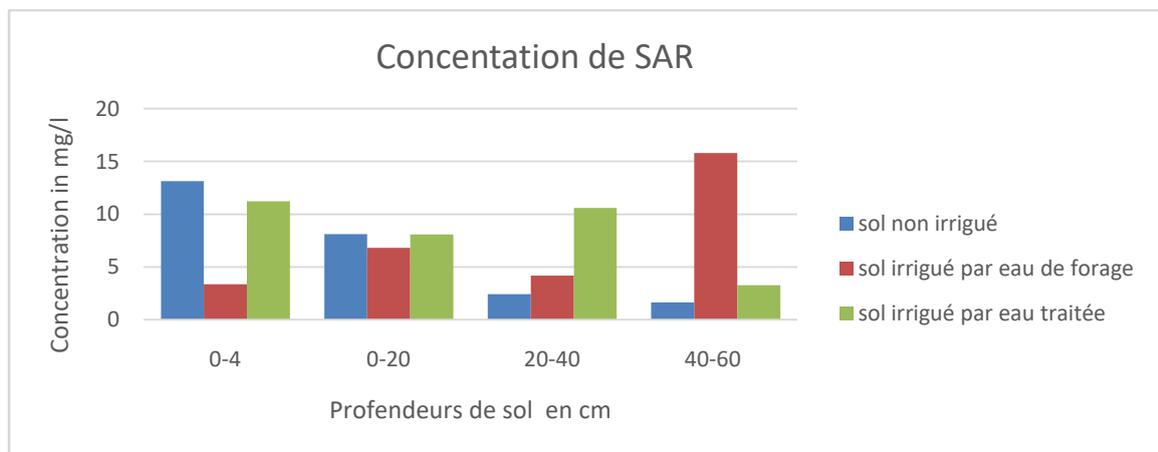


Figure 27: Concentration de SAR dans les deux types d'irrigation dans le sol

D'après la figure 27 on peut noter que dans :

Profondeur 0 à 4cm : Les sols non irrigués à un haut taux d'adsorption du sodium par rapport aux sols irrigués avec les eaux usées traitées. Cette concentration a diminué dans les sols irrigués par l'eau de forage.

Profondeur 0 à 20cm : Le taux d'adsorption du sodium est relativement identique dans tous les sols.

Profondeur 20 à 40cm : le SAR s'accroît dans le sol non irrigué, irrigué avec l'eau de forage et irrigué par eau usée traitée. Le taux d'adsorption du sodium a augmenté par rapport aux sols irrigués par l'eau de forage.

Profondeur 40 à 60cm : Le taux d'adsorption du sodium est très augmenté dans le sol irrigué par l'eau de forage par rapport au sol irrigué par l'eau usée traitée.

On remarque que le taux d'adsorption du sodium s'accroît dans le sol irrigué avec les eaux usées traitées plus que dans le sol irrigué avec l'eau forage. Ce qui affecte négativement le sol par la salinité.

## II.2 Résultats d'analyse d'eau

Notre résultat montre que les caractéristiques physico-chimiques des eaux usées traitées sont presque comme dans les eaux de forage pour certains paramètres analysés.

Les techniques de traitement des eaux usées traitées dans la station de Kouinine sont efficaces pour quelques paramètres de pollution.

Le lagunage aéré ne fonctionne pas bien pour d'autres paramètres analysés dans les eaux usées traitées sur tous les pour les sels.

Les normes Algériennes n'inclut pas tous les critères de pollution qui doivent être ciblés et suivis pour les fins d'irrigation.

Les figures ci-dessous numéro 28 jusqu'au 47 présentent notre résultat en détail pour les eaux analysées.

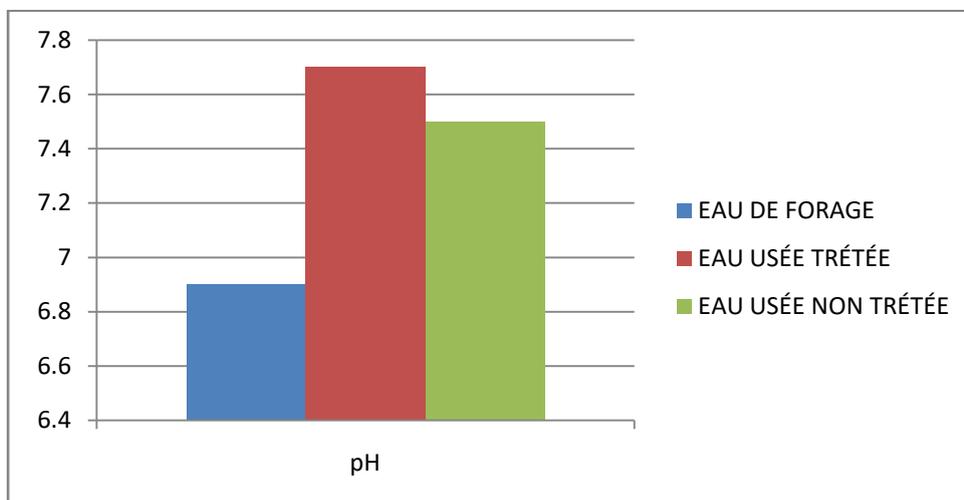


Figure 28: Concentration moyenne de pH dans les trois types de l'eau

A travers les graphiques représentés par la figure 28, on note que la valeur du pH est neutre dans les eaux usées traitées, elle est plus élevée par rapport aux eaux non traitées. L'eau de forage a un pH de 6.9. La valeur de pH obtenue dans tous les types d'eaux est comparée à la norme algérienne (6,5 - 8,5), alors elle se situe dans la plage requise.

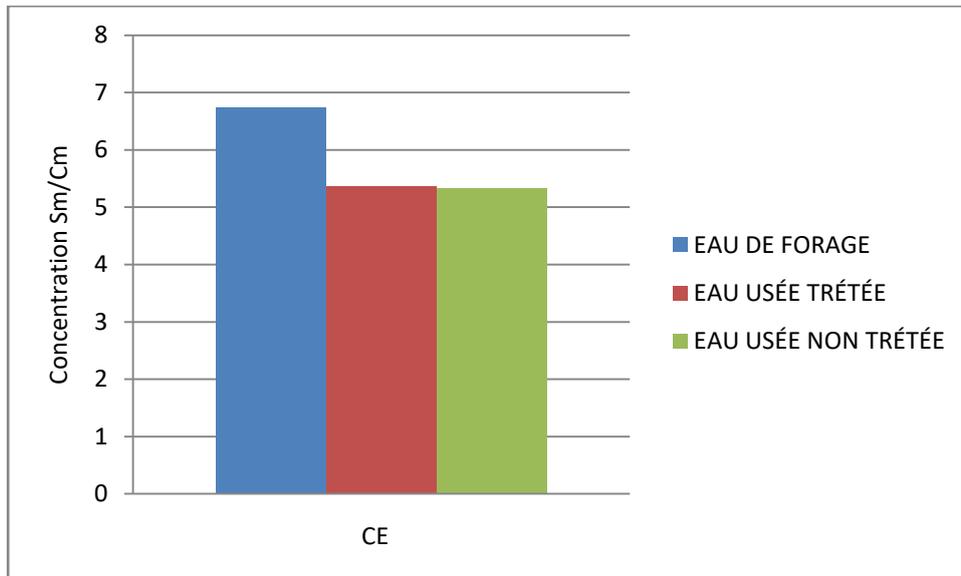


Figure 29: Concentration moyenne de conductivité électrique dans les trois types d'eau

Dans la figure 29, on note que la valeur de conductivité électrique est haute dans l'eau de forage par rapport aux autres types d'eaux analysées. Elle est similaire dans les eaux usées traitée et non traitée. La valeur de CE obtenue dans les eaux usées traitée est très élevée et non conforme à la norme algérienne (3Sm/cm).

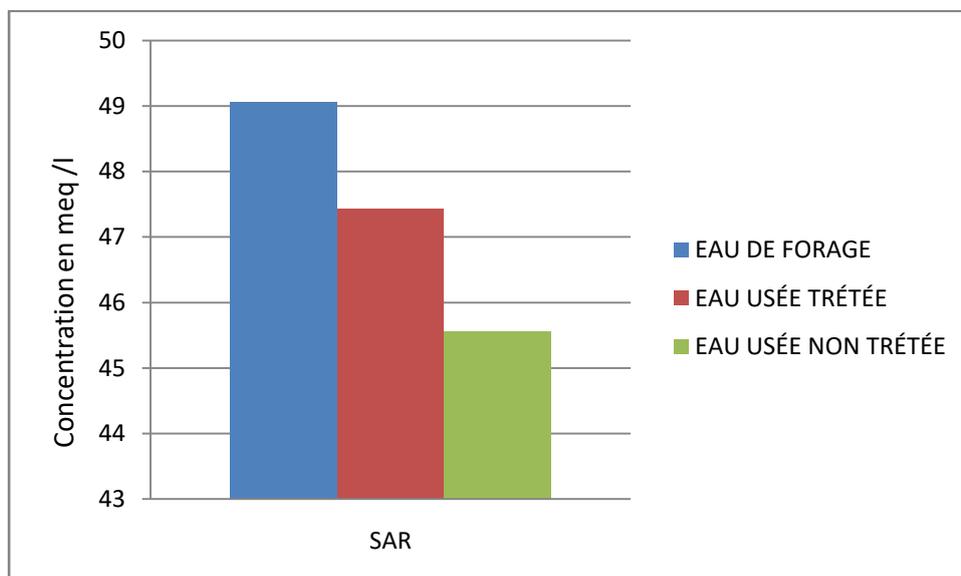


Figure 30: Concentration moyenne de SAR dans les trois types d'eau

D'après la figure 30, On remarque que le taux d'adsorption du sodium (SAR) est très élevé dans l'eau de forage comme dans les eaux usées traitées (47.425 meq/l). Le SAR augmente après le traitement d'eau usée par lagunage aéré.

Le SAR des eaux usées traitées ne conforme pas à la norme algérienne où le SAR maximal est dans la plage de 20- 40 pour une CE de 3ds/m.

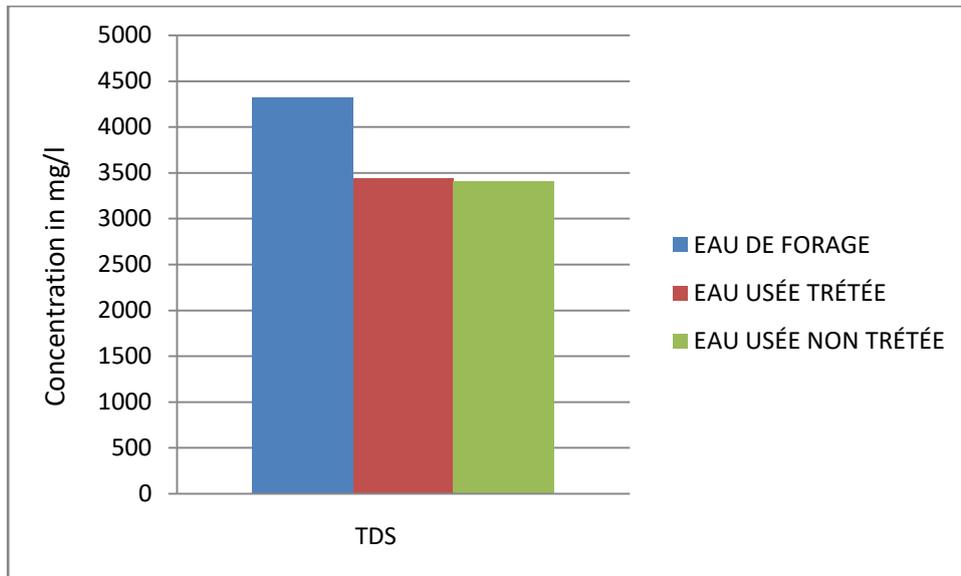


Figure 31: Concentration moyenne de TDS dans les trois types d'eau

D'après la figure 31, On remarque que la concentration des solides totaux dissous (TDS) est élevée dans l'eau de forage par rapport aux eaux usées traitées, ainsi que dans les eaux usées non traitées. Ce qui signifie que les eaux sont salines et dépassent la valeur limite exigée par la FAO ( $> 2000$  mg/l). Le dernier arrêté interministériel Algérien du 02 janvier 2012 n'a pas indiqué la valeur limite de TDS.

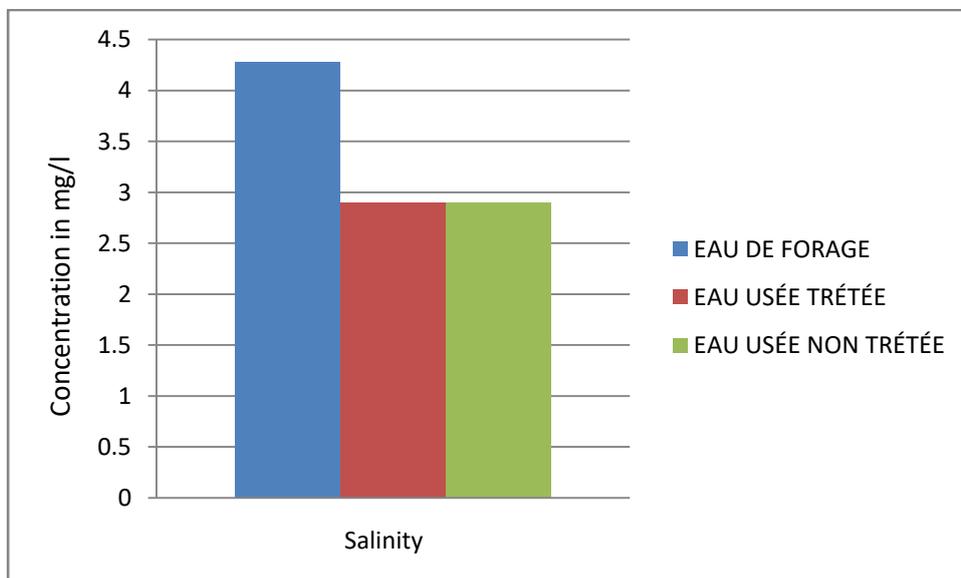


Figure 32: Concentration moyenne de Salinité dans les trois types d'eau

A travers les graphiques présentés par la figure 32, on a noté que la concentration en salinité est plus élevée dans l'eau de forage (4.28 mg/l) que dans les eaux usées traitées et non traitées. La valeur de salinité reste stable dans d'eau usée brute et traitée sans aucun traitement.

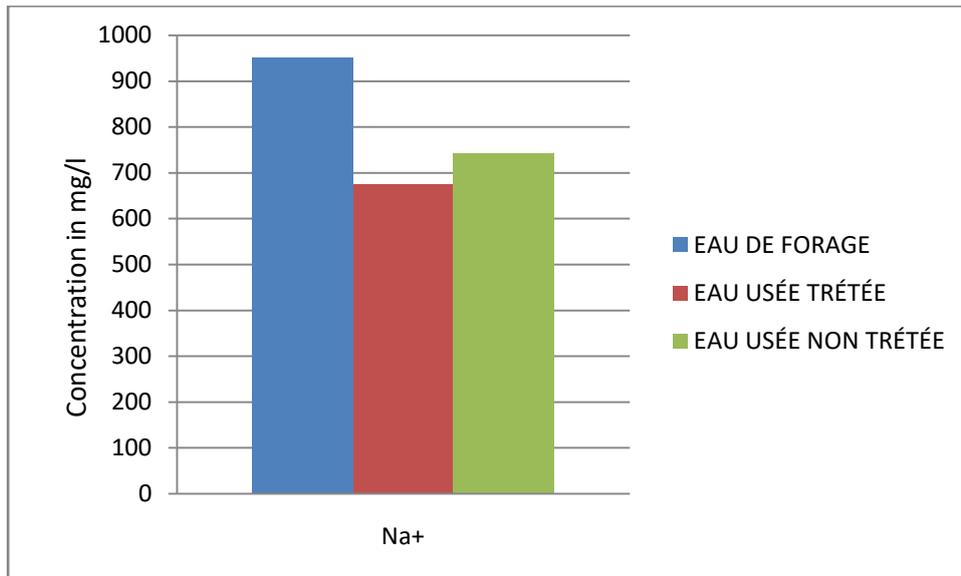


Figure 33: Concentration moyenne de Na<sup>+</sup> dans les trois types d'eau

À travers les graphiques représentés dans la figure 33, on note que la concentration en sodium (Na<sup>+</sup>) est élevée dans tous les types d'eau. Elle est un peu diminuée dans l'eau usée traitée. La concentration de Na<sup>+</sup> n'est pas conforme au norme FAO (1985) pour l'irrigation qui exige une concentration moins de 09 meq/l pour l'irrigation avec eau usée.

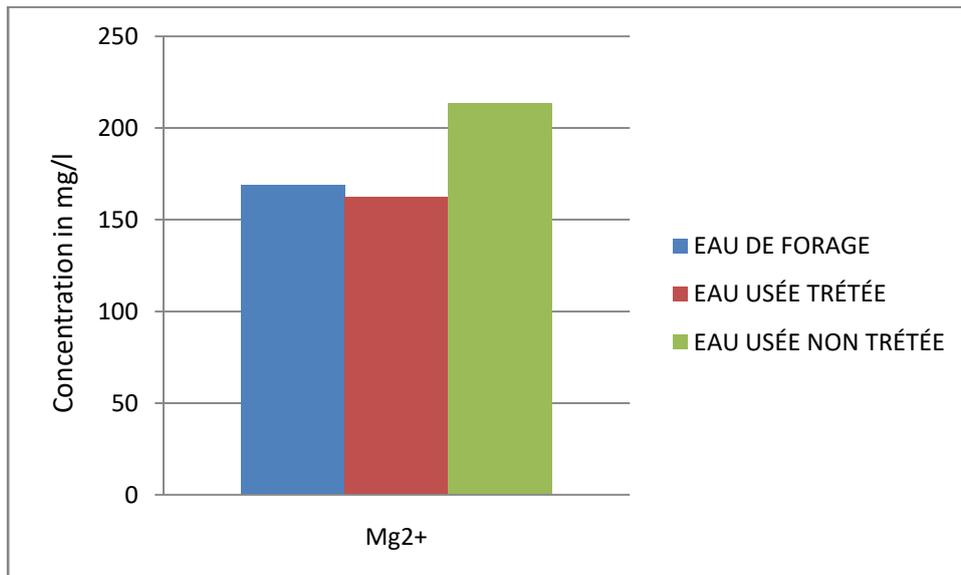


Figure 34: Concentration moyenne de Mg<sup>+2</sup> dans les trois types d'eau

La figure 34 présente la concentration de magnésium (Mg<sup>+2</sup>), elle est presque la même dans l'eau de forage et l'eaux usées traitées, elle est entre 168.73 et 162.43 mg/l. Cette concentration est plus élevée dans les eaux usées non traitées.

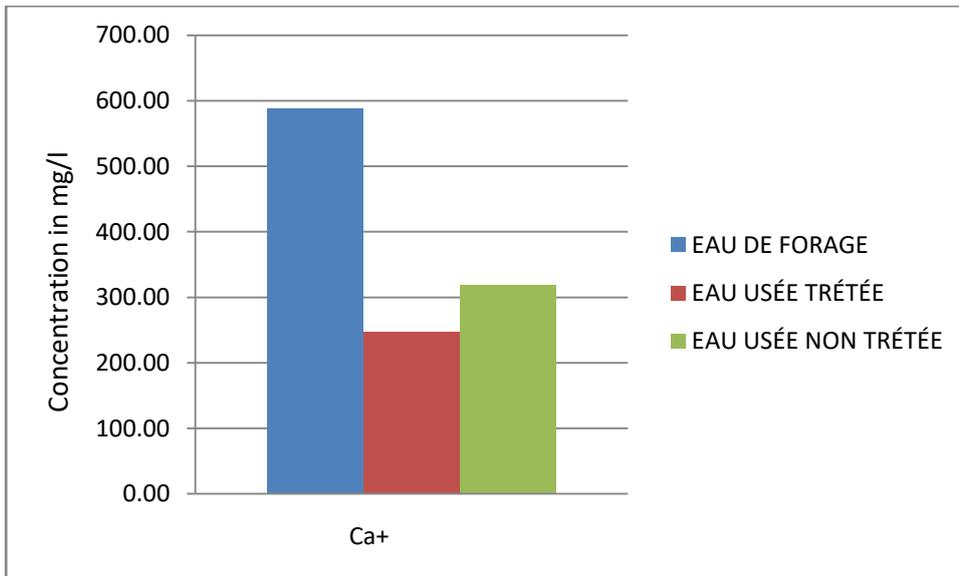


Figure 35: Concentration moyenne de Ca<sup>+</sup> dans les trois types d'eau

Dans la figure 35 on note que la concentration en calcium est élevée dans l'eau de forage par rapport aux eaux usées traitées. Il y a une élimination de ce sel dans le traitement des eaux usées. La concentration admise de Ca<sup>+</sup> dans la réglementation algérienne est fixée entre 100 et 200 mg/l. Donc la concentration de Ca<sup>+</sup> obtenue dans les eaux usées traitées dépasse de loin la concentration requise.

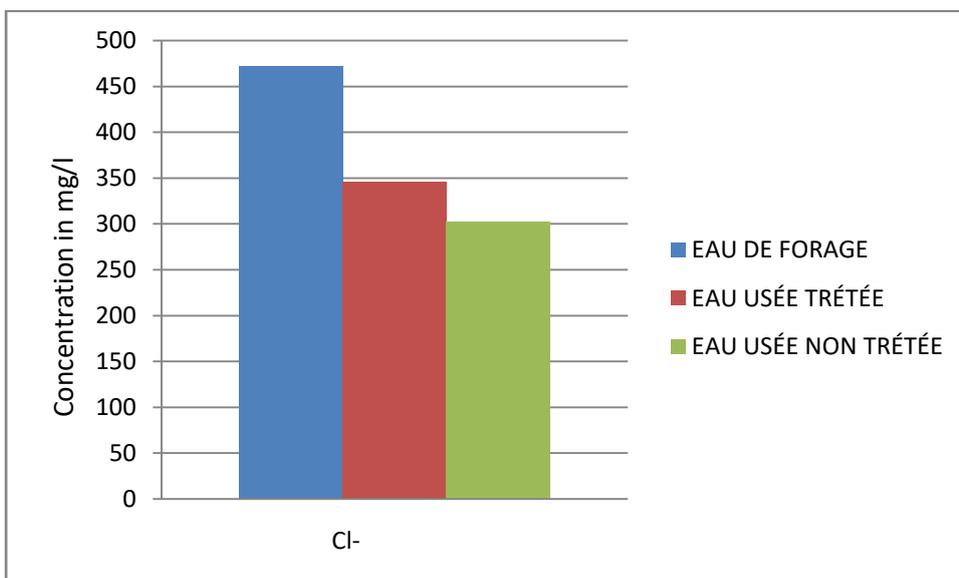


Figure 36: Concentration moyenne de Cl<sup>-</sup> dans les trois types d'eau

D'après la figure 36, On remarque que la concentration de Cl<sup>-</sup> est moins élevée dans les eaux usées traitées par rapport aux eaux de forage dans laquelle la concentration est de 471.525 mg/l. La concentration de Cl<sup>-</sup> dépasse la norme algérienne (10 meq/l), donc nous constatons qu'elle est très élevée par rapport aux exigences nationale de l'irrigation.

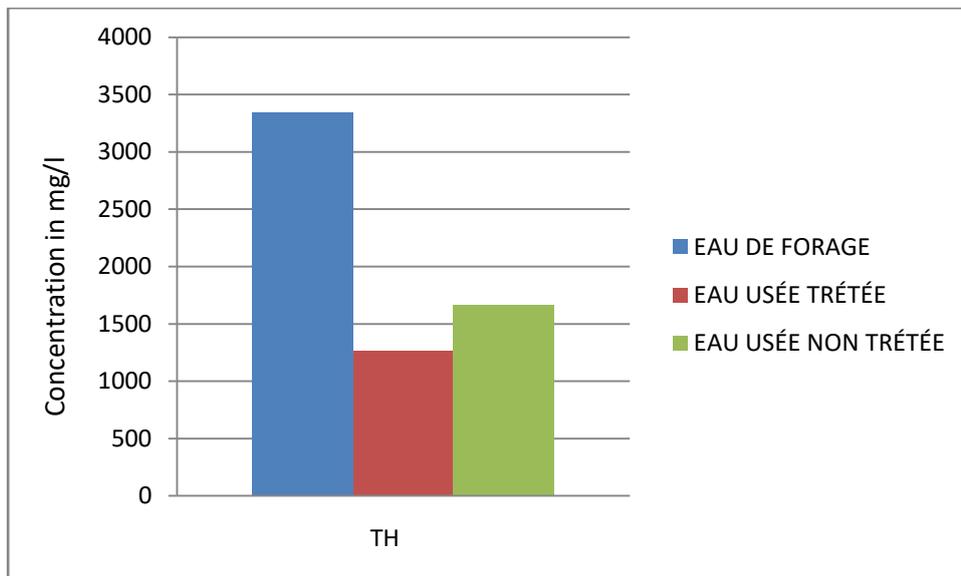


Figure 37: Concentration moyenne de TH dans les trois types d'eau

À travers les graphiques montrés sur la figure37, on note que la concentration de Dureté de l'eau est la moins élevée dans les eaux usées traitées par une valeur de 1265 mg/l.

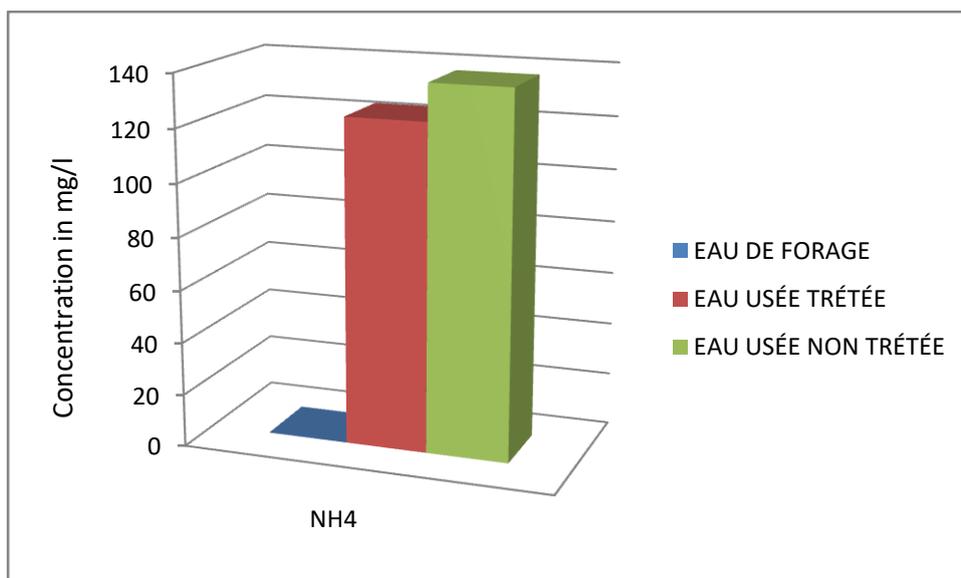


Figure 38: Concentration moyenne de NH<sub>4</sub> dans les trois types d'eau

La figure 38 expose la concentration d'ammonium, elle est moins diminuée dans les eaux usées traitées par rapport aux eaux usées non traitées. L'eau de forage ne contient pas d'ammonium, sa concentration est pratiquement nulle.

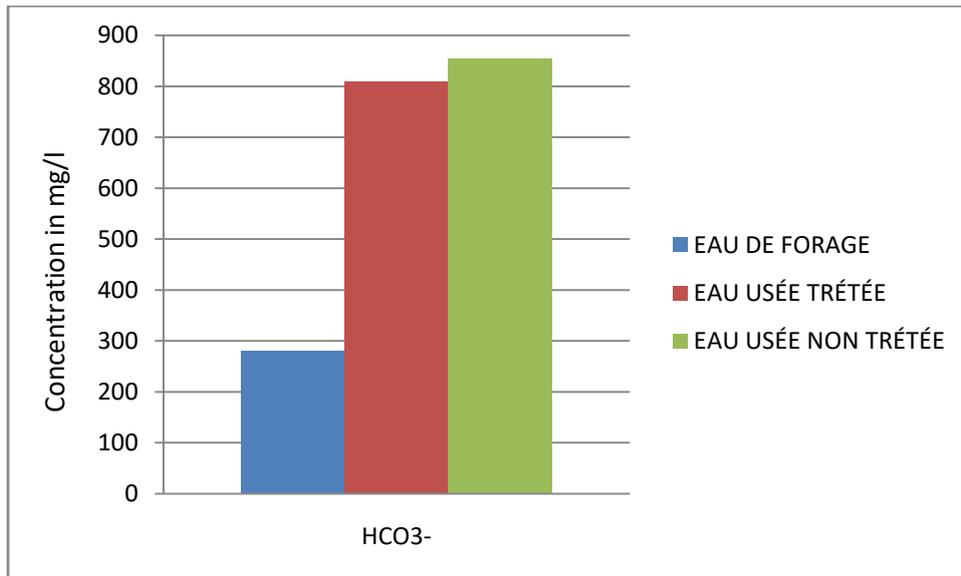


Figure 39: Concentration moyenne de  $\text{HCO}_3^-$  dans les trois types d'eau

D'après la figure 39, On remarque que la concentration de bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) est très élevée dans les eaux usées traitées par rapport à l'eau de forage. Elle est plus élevée dans les eaux usées non traitées.

La concentration de  $\text{HCO}_3^-$  obtenue dans les résultats dépasse la norme algérienne (8.5 meq/l). Nous constatons qu'elle est très loin de la concentration requise.

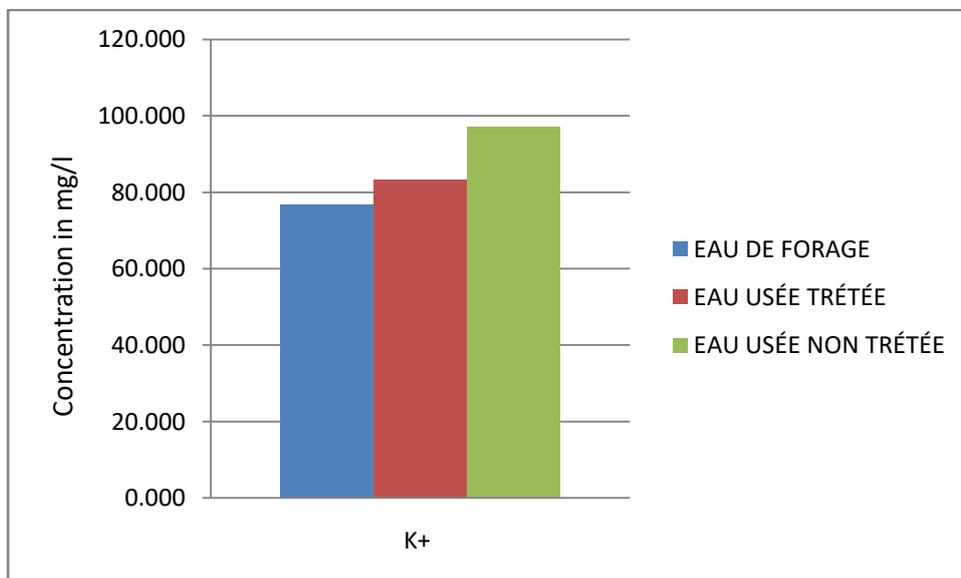


Figure 40: Concentration moyenne de  $\text{K}^+$  dans les trois types d'eau

D'après la figure 40, On remarque que la concentration de potassium ( $\text{K}^+$ ) est légèrement élevée dans l'eau usée traitée (83.252 mg/l) par rapport à l'eau de forage. Elle a un peu éliminé dans le processus de traitement des eaux usées non traitées.

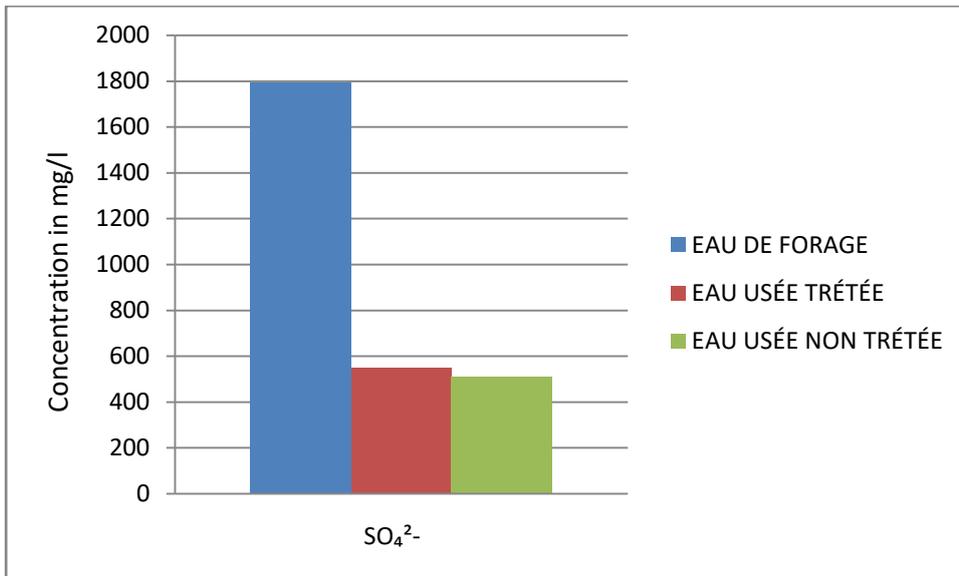


Figure 41: Concentration moyenne de  $\text{SO}_4^{2-}$  dans les trois types d'eau

À travers les graphiques représentés sur la figure 41, on note que la concentration de sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) est très élevée dans l'eau forage, presque triple concentration d'eau usée traitée.

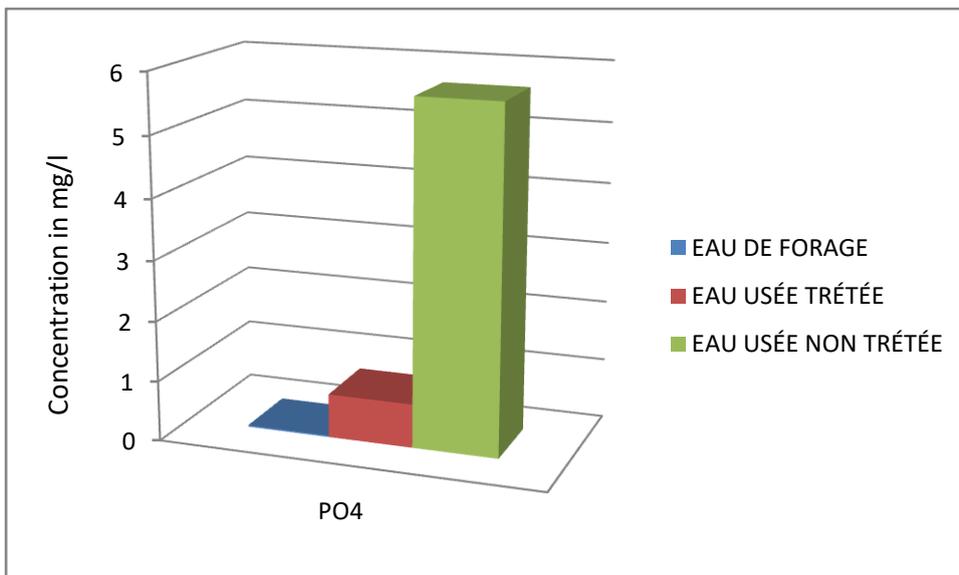


Figure 42: Concentration moyenne de  $\text{PO}_4$  dans les trois types d'eau

Dans la figure 42, on note que la concentration de phosphate est presque nulle dans l'eau de forage. Le traitement de lagunage annule le sel de phosphate dans les eaux usées traitées où sa concentration est de 0.730mg/l.

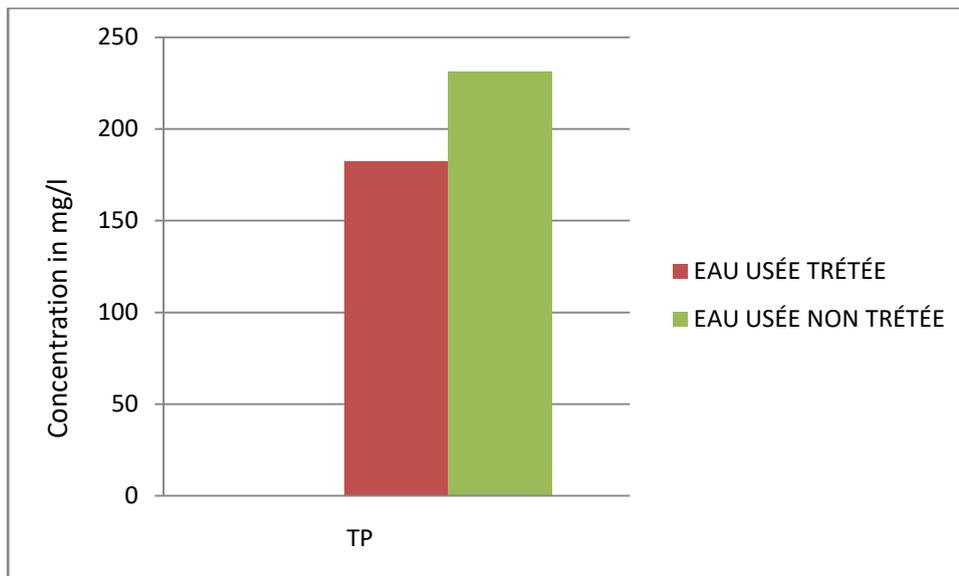


Figure 43: Concentration moyenne de TP dans les deux types d'eau

À travers les graphiques représentés dans la figure 43, on note que la concentration d'azote total (TP) est faiblement diminuée par rapport aux eaux usées non traitées.

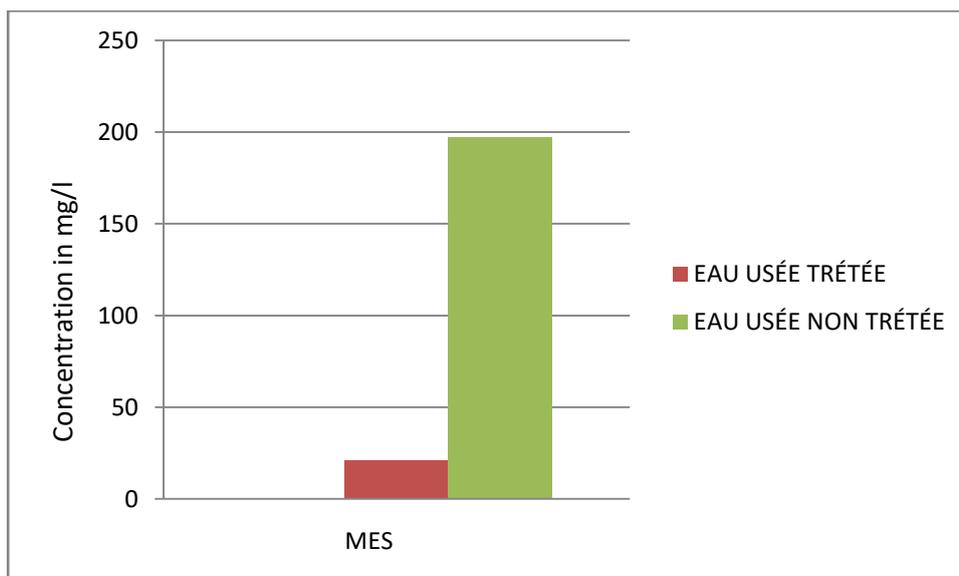


Figure 44: Concentration moyenne de MES dans les deux types d'eau

Dans la figure 44, on note que la concentration de matières solides en suspension (MES) est fortement diminuée par rapport aux eaux usées non traitées. Donc le traitement par lagunage aéré est très efficace pour l'annulation de ce type de pollution. La concentration MES obtenue est admissible pour la norme algérienne (30 mg/l) de l'irrigation.

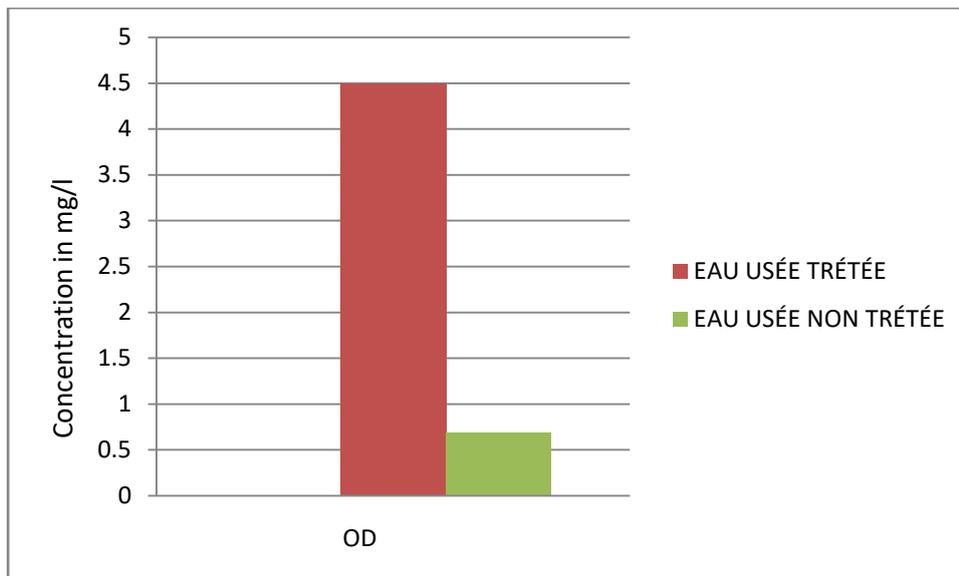


Figure 45: Concentration moyenne de OD dans les deux types d'eau

D'après la figure 45, On observe que la concentration d'oxygène dissous (OD) est très élevée dans les eaux usées traitées par rapport aux eaux usées non traitées (0.688 mg/l). L'oxygène dissous augmente après traitement par lagunage aéré.

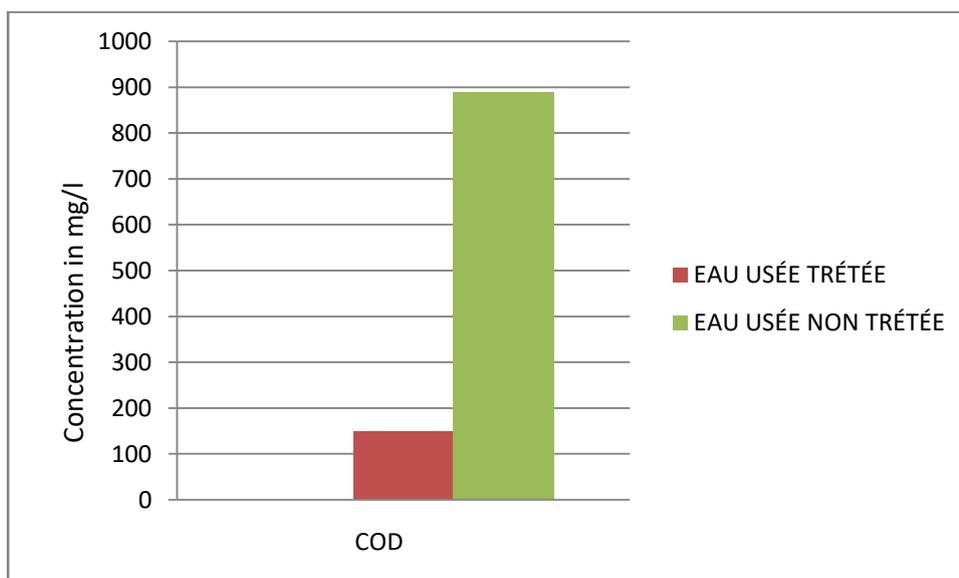


Figure 46: Concentration moyenne de DCO dans les deux types d'eau

À travers les graphiques présentés par la figure 46, on note que la concentration de demande chimique en oxygène (DCO) est très élevée dans les eaux usées non traitées (887.83 mg/l). Après traitement, elle devient plus faible mais reste légèrement au-dessus de norme algérienne (90 mg/l).

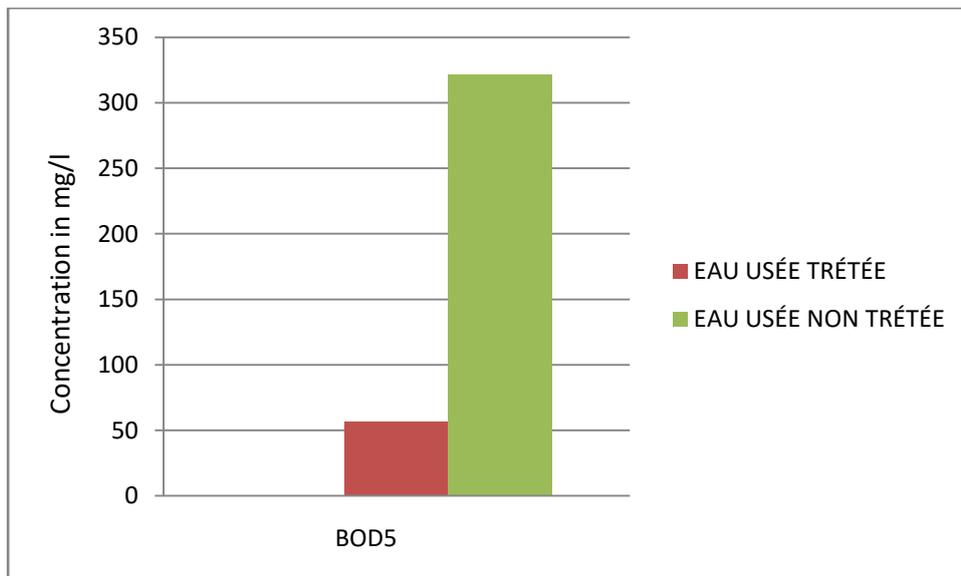


Figure 47: Concentration moyenne de DBO<sub>5</sub> dans les deux types d'eau

Dans la figure 47, on note que la concentration de demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>) est fortement élevée dans les eaux usées non traitées. Elle a excessivement diminué dans les eaux usées traitées.

Le DBO<sub>5</sub> obtenue après traitement est de 57mg/l, il reste encore non convenable à la norme algérienne qui ne dépasse pas 30mg/l.

# **Conclusion générale et Recommandations**

## Conclusion générale

L'irrigation a un effet très primordial dans le sol et les cultures irriguées. Les eaux usées traitées peuvent avoir des positifs ou des négatifs impacts sur le sol d'El-Oued.

La salinité de sol peut être un résultat de l'irrigation par eau usée traitée dans la wilaya d'El-Oued en cas de réutilisation dans les conditions actuelles.

La présente irrigation par eau de forage dans la wilaya d'El-Oued a aussi une conséquence négative sur le sol, elle cause le problème de salinité quand elle dépasse les besoins des cultures irriguées par des taux élevés de ces sels :  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{SO}_4$

Les sels les plus concentrés dans l'eau usée traitée de la station d'épuration de Kouinine sont :  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$

Les valeurs de  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , DCO,  $\text{DBO}_5$ , SAR dépassent les concentrations maximales admissibles recommandées par la norme Algérienne (Arrêté interministériel du 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012 fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation, 2012) et celle de la FAO (FAO, 1985) des eaux usées destinées à l'irrigation. Avec ces teneurs élevées, ces eaux constituent une vraie menace pour l'environnement de la région d'El-Oued et notamment pour les sols agricoles de la wilaya.

Cependant, dans notre étude, les sols sableux ont montré une accumulation de sel plus élevée après l'irrigation par eau usée traitée par rapport à l'irrigation par l'eau de forage. Les augmentations d'CE et de trois ions  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{PO}_4$  étaient plus élevées.

Dans l'ensemble, nos résultats fournissent des informations constructives sur l'utilisation des eaux usées, en particulier pour les zones de pénurie d'eau, telles que la sélection d'un environnement d'irrigation spécifique pour maximiser les avantages de l'irrigation par eau usée traitée et réduire ses effets toxiques.

## **Recommandations**

Quelques recommandations peuvent être apportées selon notre étude :

- Évaluer les performances d'un traitement tertiaire pour améliorer l'enlèvement de certains polluants ou nutriments afin de répondre aux normes nationales d'irrigation par eaux usées et au besoin des cultures cultivées.
- Lancer des études plus détaillées sur la salinité des eaux usées traitées, qui permettra de voir l'impact du temps sur les caractéristiques physico-chimiques de ces eaux par celles analyses (salinité, SAR, CE, TDS, cations, anions...).
- Réaliser une étude technico-économique complète de la filière de traitement développée des eaux usées.
- Tester et appliquer les procédés de traitement développé et en même temps concentrer sur des technologies plus économiques dans la wilaya.

# Références

## Références

- ABABSA, N., 2016. Identification et quantification in situ des interactions entre la diversité faunique et la macro -bioporosité dans le contexte des bioporosité dans le contexte des prairies naturelles irr. Univ. Ferhat Abbas Sétif 1.
- Abdelazim M. Negm, El-Sayed E. Omran, and S.A.-F., 2019. Update, conclusions, and Recommendation for the “Unconventional Water Resources and Agriculture in Egypt.” © Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018.
- Abidi, H., Touati, S., 2018. Application du SIG pour déterminer la qualité physico-chimique des eaux des forages destinées à l’AEP dans la région du Souf. Univ. HAMMA LAKHDAR EL-Oued.
- Agence nationale de gestion intégrée des ressources en eau, 2020. EAUX NON CONVENTIONNELLES - Agence Nationale de Gestion Intégrée des Ressources en Eau [WWW Document].
- Al-Shammari, S.B., Shahalam, A.M., 2006. Effluent from an advanced wastewater treatment plant - an alternate source of non-potable water for Kuwait. *Desalination* 196, 215–220.
- Aleisa, E., Alshayji, K., 2019. Analysis on reclamation and reuse of wastewater in Kuwait. *J. Eng. Res.* 7.
- Algérie presse service, 2022. Ressources en eau: taux de remplissage des barrages à 37,9% [WWW Document].
- Alkudhiri, A., Darwish, N. Bin, Hilal, N., 2019. Analytical and forecasting study for wastewater treatment and water resources in Saudi Arabia. *J. Water Process Eng.* 32, 100915.
- Alnaimy, M.A., Shahin, S.A., Vranayova, Z., Zelenakova, M., 2021. Long-Term Impact of Wastewater Irrigation on Soil Pollution and Degradation : A Case Study from Egypt 1–15.
- Ammar, M., Khalifa, T.T., 2020. Evaluation de l’efficacité de la station d’épuration des eaux usées (STEP) de Guelma. *Génie des procédés des matériaux Présenté.*
- Arrêté Interministériel, 2012. les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d’irrigation. *J. Off. LA Repub. Alger.* 41, 2012.
- Arrêté interministériel du 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012 fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d’irrigation, 2012. *Journal officiel DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE* 19.
- ASCD, 2004. Les glaciers 1–19.

- Baumont, S., 2004. Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France 222.
- BEN DOYEM, S., 2015. Contribution à l'étude de l'hyperfluoruration des eaux souterraines de région d'EL –Oued (souf) et ses conséquences sur la santé humaine. Univ. Echahid Hamma Lakhdar-El-Oued.
- BEN MABROUK, G., MELLAK, S., 2020. Traitement des eaux usées par la fibres Alfa et l'argile. Univ. MOHAMED BOUDIAF - M'SILA 94.
- BENZARIA, M., 2008. Des Eaux Usées En Irrigation De La Maîtrise. Univ. DU QUÉBEC À MONTRÉAL.
- Berglund, K., Claesson, H., 2010. A Risk Assessment of Reusing Wastewater on Agricultural Soils-A Case Study on Heavy Metal Contamination of Peach Trees in Ouardanine, Tunisia. Dep. Water Resour. Eng. Lund Univ.
- Bouchaala , Laid, Charchar , Nabil, Gherib , Abde Elfettah, 2017. Ressources Hydriques : Traitement et Reutilisation des Eaux Usees en Algerie = Water Resources Treatment and Reuse of Wastewater in Algeria. Alger. J. Arid Environ. 7, 84–95.
- BOUCHAALA, L., CHARCHAR, N., GHERIB, A., 2017. Ressources Hydriques : Traitement Et Reutilisation. Alger. J. Arid Environ. 7, 84–95.
- Bouchentouf, M., Abdarrahmane, M., 2021. Thème : Traitement des eaux usées par les microalgues.
- Boudjadja, A., Pauc, M.M.H., 2003. Ressources hydriques en Algérie du Nord. Rev. des Sci. l'eau J. Water Sci. 16, Number, 285–304.
- BOUHADI, R., ARIOUA, S., KAICHE, B., 2021. Traitement des eaux usées par le procédé coagulation-floculation en utilisant des coagulants à base des sels d'aluminium ( $Al_2(SO_4)_3$  -  $AlCl_3$  ). Univ. MOHAMED BOUDIAF –M'SILA.
- BOUKAMOUM, M., 2016. CONTRIBUTION A LA PREVISION DE LA DEMANDE EN EAU EN ALGERIE (APPLICATION SUR L'AGGLOMERATION DE SETIF). Ec. Natl. Super. D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah 62.
- BOUKHALFA, A., KAFI, K.N., 2013. Conséquences de l'utilisation de deux types d'eau d'irrigation sur les paramètres physico-chimique d'un sol de la station d'épuration de Ouargla. Univ. KASDI MERBAH OUARGLA.
- BOUKHEZA, M., DJEROUNI, A., 2020. L'évaluation de la possibilité de réutilisation en agriculture les eaux épurées à partir de la STEP de Touggourt.
- Boulifa, K., 2012. Synthèse hydrogéologique sur la region d ' El-Oued Sahara nord oriental – Est Algérien. Univ. Constantine 1 181.

- Boutin, C., Heduit, A., Technologies, J.M.H., 2009. Technologies d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées (REUT).
- Caroline, P., 2008. Les micro-organismes dans les eaux usées [WWW Document]. Inst. FRANÇAIS L'ÉDUCATION. URL <http://eduterre.ens-lyon.fr/ressources/scenarioeau/annexes/microorganismeseauxusees?fbclid=IwAR00e1L3QdFIyDTF3Nxi3q3Zhwi9TEX-3vuvEiUaJ5GNuoLefga-2fss0J0> (accessed 6.6.22).
- Challenges of Wastewater Treatment and Reuse in the MENA Region - Fanack Water [WWW Document], 2017. URL <https://water.fanack.com/specials/wastewater-treatment-reuse-mena-countries/challenges-wastewater-treatment-reuse-mena-region/> (accessed 3.11.22).
- Charland, K., 2014. Analyse Des Perspectives De Réutilisation Des Eaux Usées Municipales Au Québec. Univ. SHERBROOKE.
- Christophe, J., 2018. Dessalement: mettre la mer en bouteilles - L'Express [WWW Document]. URL [https://www.lexpress.fr/actualite/sciences/dessalement-mettre-la-mer-en-bouteilles\\_2025801.html](https://www.lexpress.fr/actualite/sciences/dessalement-mettre-la-mer-en-bouteilles_2025801.html) (accessed 6.9.22).
- Clément, P., 2018. Le traitement des eaux par rayonnement UV [WWW Document]. URL <https://www.josmose.fr/blog/137-le-traitement-des-eaux-par-rayonnement-uv?fbclid=IwAR13RdgZL5S-O9811jaSV2h3GmCfGCMGlwPzrigMGcaRLhsDjYS1x64pruc> (accessed 6.1.22).
- Dairi, S., Dounia, M., Sofiane, B., Yassine, D., Habib, A., 2021. Prospective scenarios for the management of wastewater resources in mostaganem region, Algeria. *Desalin. Water Treat.* 209, 414–428.
- Deutsch, J.-C., Miquel, G., 2003. Rapport sur la qualité de l'eau et de l'assainissement en France. Off. Parlem. D'ÉVALUATION DES CHOIX Sci. Technol. 293.
- djeddi, hamsa, 2007. Utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences fortières urbaines. 144.
- Douaoui, A., Gascuel-Odoux, C., Walter, C., 2004. Infiltrabilité et érodibilité de sols salinisés de la plaine du Bas Chélif (Algérie). *Mes. au Lab. sous Simul. pluie. EGS* 11, 379–392.
- Elmeddahi, Y., Mahmoudi, H., Issaadi, A., Goosen, M.F.A., 2016. Analysis of treated wastewater and feasibility for reuse in irrigation: a case study from Chlef, Algeria. *Desalin. Water Treat.* 57, 5222–5231.
- Europ, L.E.P., De, E.C., Europ, U., 2020. RÈGLEMENT (UE) 2020/741 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 25 mai 2020 relatif aux exigences minimales applicables à la réutilisation de l'eau. *J. Off. l'Union Eur.* 2019, 32–55.

- European Parliament and Council of the European Union, 2020. REGULATION (EU) 2020/741 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 25 May 2020 on minimum requirements for water reuse. Eur. Parliam. Counc. Eur. Union, 2020. Regul. 2020/741 Eur. Parliam. Counc. 25 May 2020 Minim. Requir. water reuse 2019, 32–55. 32–55.
- FAO, 1985. Irrigation avec des eaux usées traitées – Manuel d’utilisation. Organ. des Nations Unies pour l’Alimentation l’Agriculture.
- Farhadkhani, M., Nikaen, M., Yadegarfar, G., Hatamzadeh, M., Pourmohammadbagher, H., Sahbaei, Z., Rahmani, H.R., 2018. Effects of irrigation with secondary treated wastewater on physicochemical and microbial properties of soil and produce safety in a semi-arid area. *Water Res.* 144, 356–364.
- Feller, X., 2018. Caractérisation expérimentale de l’épuration d’eaux usées domestiques par leur infiltration au travers de colonnes de sol. Univ. Cathol. louvain.
- Fermas, M., Lamhachheche, K., 2020. Réutilisation des eaux usées urbaines épurées en agriculture : Cas de la STEP de KOLEA (wilaya de Tipaza). Univ. Mohammad Seddik ben Yahya Jijel.
- Giahs, S., n.d. Système oasien« Ghout », El-Oued. Algérie. Plan de travail national 1–42.
- Godini, K., Azarian, G., Kimiaei, A., Dragoi, E.N., Curteanu, S., 2021. Modeling of a real industrial wastewater treatment plant based on aerated lagoon using a neuro-evolutive technique. *Process Saf. Environ. Prot.* 148, 114–124.
- Graham, A., Richard, J., 2021. Progrès relatifs au traitement des eaux usées.
- Haidara, R., Abdelbaki, C., Badr, N., 2022. Feasibility of Water Reuse for Agriculture—Case Study of Ain Temouchent (Algeria), *Advances in Science, Technology and Innovation.* Springer International Publishing.
- Henri, A., Colette, L.B., Graziella, D., 2004. Le point des connaissances sur le traitement des eaux usées. *Inst. Natl. Rech. sécurité.*
- Ibekwe, A.M., Gonzalez-Rubio, A., Suarez, D.L., 2018. Impact of treated wastewater for irrigation on soil microbial communities, *Science of the Total Environment.*
- INRS, 2022. Legionella spp. [WWW Document]. URL [https://www.inrs.fr/baobab/baobab.nsf/\(allDocParRef\)/Legionella\\_spp.?opendocument&format=print&fbclid=IwAR3pVnU7NqT5fiU5i\\_PV3-IhCVlhsiVW0dwwrnvriFCsBqSapQTpUjitZLE](https://www.inrs.fr/baobab/baobab.nsf/(allDocParRef)/Legionella_spp.?opendocument&format=print&fbclid=IwAR3pVnU7NqT5fiU5i_PV3-IhCVlhsiVW0dwwrnvriFCsBqSapQTpUjitZLE) (accessed 6.6.22).
- ITA, 2021. Tunisia - Pollution Control Equipment [WWW Document]. Int. Trade Adm. URL <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/tunisia-pollution-control->

- equipment?fbclid=IwAR3SEz7kZP-GTb7XXIF8B4AGefhV8gXh\_aZpvLIHnhQ1stEbJTUhy5IUWU (accessed 4.11.22).
- Kadri, S.R., Chaouche, S., 2018. La remontée des eaux dans la région du Souf : une menace sur un écosystème oasien. *Les Cah. d'EMAM*.
- Kelkouli, R., Ait Hammou, D., Zareb, L., Saidi, O., Kelkouli, A., Merouch, M., M, K. and, 2007. Potential use of treated wastewater for supplemental irrigation of cereals Algeria 119–130.
- Kettab, A., 2001. Les ressources en eau en Algérie: Stratégies, enjeux et vision. *Desalination* 136, 25–33.
- Kettab, A., 2020. Les ressources en eau en Algérie : stratégies , enjeux et vision 9164.
- Khelif, S., 2018. Impact de l'irrigation avec les eaux usées sur la qualité des sols agricoles et des eaux souterraines de la région de Fesdis. Région Nord de Batna. Univ. BATNA1-BATNA-.
- Klar, E., 2014. Traitement des eaux usées par rayons ultraviolets et micro station d'épuration [WWW Document]. Klar Environ. URL [http://www.klar-environnement.com/traitement-des-eaux-usées-par-uv.aspx?fbclid=IwAR3sk7PFWemyPwRasYFAJsRGE33pIIRZNPfxFMs--\\_mzuyLWX9sG3cqW0eU](http://www.klar-environnement.com/traitement-des-eaux-usées-par-uv.aspx?fbclid=IwAR3sk7PFWemyPwRasYFAJsRGE33pIIRZNPfxFMs--_mzuyLWX9sG3cqW0eU) (accessed 6.1.22).
- Krouchi, C., 2016. Effets de l'irrigation par les eaux usées domestiques traitées sur la fertilité des sols.
- Lazarova, V., Brissaud, F., 2003. Intérêt, bénéfices et des eaux usées en France. *L'eau, l'industrie, les nuisances*, 299, 43–53.
- Le Quotidien, 2011. Agriculture: 5.600 ha seront irrigués par les eaux traitées d'ici 2014.
- Lee, J., Lee, S., Yu, S., Rhew, D., 2016. Relationships between water quality parameters in rivers and lakes: BOD5, COD, NBOPs, and TOC. *Environ. Monit. Assess.* 188, 1–8.
- Mammeri, K., Laib, M., 2019. Amélioration du Sol Agraire Saharien par l'Addition d'Hydrogel dans la Culture des oignons – Cas Oued Souf. Univ. Echahid Hama lakhdar – El Oued.
- Mannina, G., Rebouças, T.F., Cosenza, A., Sánchez-Marrè, M., Gibert, K., 2019. Decision support systems (DSS) for wastewater treatment plants – A review of the state of the art. *Bioresour. Technol.* 290, 121814.
- MAREF, N., 2020. Traitement et épuration des eaux. Univ. Djillali Liab`es Sidi Bel Abb`es.
- MARGAT, J., UNESCO, BRGM, 2007. SERVICE EAU EXPLOITATIONS ET UTILISATIONS DES EAUX SOUTERRAINES DANS LE MONDE.

- McClane, B.A., 2014. Clostridium perfringens. *Encycl. Toxicol.* Third Ed. 987–988.
- Merabet-Baghli, N., Cyprien, H.A., Ibrahim, C.S., 2020. Irrigation with treated wastewater: An issue for the water economy in Western Algeria. *Tech. - Sci. - Methodes* 115, 21–28.
- Merzougui, W., 2017. Etude De Performance D ' Un Dessableur « Station D ' Epuration De La Ville D ' Ain Beida ». Univ. Larbi Ben M'hidi Oum-El-Bouaghi.
- Miguet, M., 2011. L'eau en Israël : L'innovation pour répondre à une situation difficile ; vers une indépendance de l'or bleu. *Bur. Sci. Ambassad. Fr. en Israël.*
- NANI, H.B., TOUIL, A., NANI, M., 2021. La Réutilisation Des Eaux Usées En Agriculture à Partir De La Station D ' épuration ( STEP 03 ) De La Wilaya d ' El -Oued. Univ. Echahid HAMMA LAKHDAR d'El-Oued.
- Negm, A.M., 2019. *Unconventional Water Resources and Agriculture in Egypt*, 75th ed. Springer International Publishing AG, Switzerland.
- Negm, A.M.A.B., Chenchouni, H., 2020. *Water resources in Algeria-PartII, Water Quality, Treatment, Protection and Development.* Springer Nature Switzerland AG 2020, Switzerland.
- Neubert, S., Benabdallah, S., 2003. *La réutilisation des eaux usées traitées en Tunisie*, Institut allemand de développement.
- Nierenberg, N.E., 2011. *Les vers de l ' humain : les nématodes intestinaux.*
- Odoemena, K.I., MD Rowshon, K., Hasfalina Binti, C.M., 2020. *Advances in Utilization of Wastewater in Agricultural Practice: a Technical Note.* *Irrig. Drain.* 69, 149–163.
- OMS, O. mondiale de la S., 2012. *DIRECTIVES OMS POUR L'UTILISATION SANS RISQUE DES EAUX USÉES, DES EXCRETA ET DES EAUX MÉNAGÈRES II.*
- ONA, 2021. *Fiche technique de l'Office National de Assainissement.*
- ONEA, O.N.D.L.E.D.L., 2001. *PLAN STRATEGIQUE D'ASSAINISSEMENT DE LA VILLE DE OUAGADOUGOU (PSAO).* Off. Natl. L'EAU L'ASSAINISSEMENT.
- OSMEO, 2019. *Système de filtration par osmose inverse [WWW Document].* URL [https://www.semeo.fr/solutions-de-traitement-mobile-des-effluents/rent-location/unites-mobiles-de-traitement-des-eaux/osmose-inverse/?fbclid=IwAR2yDmaFXa811F-Lro88X\\_yaCYqO12es-f9GAmDpXZJSUGLXyIMvudnNptM](https://www.semeo.fr/solutions-de-traitement-mobile-des-effluents/rent-location/unites-mobiles-de-traitement-des-eaux/osmose-inverse/?fbclid=IwAR2yDmaFXa811F-Lro88X_yaCYqO12es-f9GAmDpXZJSUGLXyIMvudnNptM) (accessed 6.1.22).
- Ouamane, A., 2009. *Dam engineering in Algeria: Progress, needs and prospects.* *Int. J. Hydropower Dams* 16, 75–78.
- Pankaj, K., Roy, M., Biswas, R., 2018. *Advances in Water Resources Engineering and Management*, volume 131. ed. Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2021.
- Paquette, S., 2004. *Evaluation dans l'enlèvement des micro-organismes pathogènes et des*

- germes indicateurs présents dans les eaux usées lors d'un traitement physico-chimique suivi d'une désinfection aux U.V. Québec.
- PLAT, B., LAMBRY, A., DONADIEU de LAVIT, P., de la TOUANNE, D., 2019. Public Water and Wastewater Services in France. Les Entrep. l'eau.
- Racault, Y., Boutin, C., Molle, P., 2006. Le lagunage naturel en France : retour d'expérience et évolutions de la technique. In: l'ASTEE (Ed.), . Deauville, France.
- Radcliffe, J., 2019. Water recycling in Australia: a review undertaken by the Australian academy of technological sciences and engineering. Aust. Acad. Technol. Sci. Eng.
- Rafika, K., Tarik, H., Ph, K.R., 2017. Etude de l'application d'un traitement tertiaire complémentaire sur les eaux usées épurées de la station de lagunage aéré de Ouargla en vue de réutilisation agricole en milieu aride. Systèmes Agric. Environ. SAGREN 01, 88–94.
- Rahmani SE, A., 2017. Hydraulic Budget for Water Resources Management in Region of Djelfa (Algeria). Int. J. Hydrol. 1, 148–149.
- Raschid-sally, L., Redwood, M., 2011. L'IRRIGATION AVEC DES EAUX USÉES ET LA SANTÉ.
- Rashid, R., Shafiq, I., Akhter, P., Iqbal, M.J., Hussain, M., 2021. A state-of-the-art review on wastewater treatment techniques : the effectiveness of adsorption method.
- Remini, B., Leduc, C., Hallouche, W., 2009. Évolution Des Grands Barrages En Régions Arides : Quelques Exemples Algériens. Sécheresse 20, 096–103.
- Rouibah, K., Belabbas, M., 2022. Modeling and monitoring surface water dynamics in the context of climate changes using remote sensing data and techniques: case of Ain Zada Dam (North-East Algeria). Arab. J. Geosci. 15, 1–9.
- SAADOUNE, F.Z., 2016. l'effet de deux types d'amendement sur les caractéristiques physico-chimiques et hydriques d'un sol salé de la station expérimentale l'El Hmadena (Relizane). Univ. Most.
- Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, 2007. Normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation. Arrêté n°1276-01 1520.
- Seidl, M., Mouchel, J.M., 2003. Valorisation des eaux usées par lagunage dans les pays en voie de développement-Bilan et enseignements pour une intégration socio-économique viable.
- Selmi, S., Elloum, M., Hammami, M., 2007. La réutilisation des eaux usées traitées en agriculture dans la délégation de Mornèg , en Tunisie. Les instruments économiques la

- Mod. des périmètres irrigués 11.
- Sou, Y., 2009. Recyclage des eaux usées en irrigation : potentiel fertilisant , risques sanitaires et impacts sur la qualité des sols 178.
- Taylor, J., Lai, K. man, Davies, M., Clifton, D., Ridley, I., Biddulph, P., 2011. Flood management: Prediction of microbial contamination in large-scale floods in urban environments. *Environ. Int.* 37, 1019–1029.
- TERCHI, S., 2014. ETUDE DE L'IMPACT DE LA QUALITE DES EAUX D'IRRIGATION SUR LA FERTILITE DU SOL, LA PLANTE ET LE RENDEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION. Ec. Natl. Super. D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah- Dep.
- Touati, B., 2010. Les barrages et la politique hydraulique en Algérie : état, diagnostic et perspectives d'un aménagement durable 384.
- Touil, S., Chabaca, M.N., Hasbaia, O., 2020. Impact assessment of long treated wastewater irrigation on soil and crops in Algeria. *Euro-Mediterranean J. Environ. Integr.* 5, 1–10.
- Trevi, 2020. Trevi Environmental Solutions - Filtration sur membranes [WWW Document]. URL <https://www.trevi-env.com/fr/eau-realizations/eau-overzicht/129-eau-technikfiches-fr/265-filtration-sur-membranes> (accessed 3.12.22).
- Tricart, J., 1976. Ressources en eau. *Ann. Geogr.* 85, 355–356.
- UNESCO, 2008. Traitement des eaux usées par lagunage. RABAT.
- West, D., 2010. Doha West traitement des eaux reuse.
- Wikipedia, 2019. DZ-39 (2019) wilaya el oued [WWW Document]. URL [https://ar.wikipedia.org/wiki/الولاية\\_الوادي#/media/ملف:DZ-39\\_\(2019\).svg](https://ar.wikipedia.org/wiki/الولاية_الوادي#/media/ملف:DZ-39_(2019).svg) (accessed 6.9.22).
- Youssouf, B., 2020. Réutilisation des Eaux Usées Epurées en Algérie. *Univ. Guelma* 66.
- ZAIDI, Y., 2019. Etude de procédé de déminéralisation des eaux saumâtre – station de déminéralisation de DJAMAA wilaya d'Oued Souf.
- ZIZI, N., 2013. STATIONS DE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER EN ALGERIE : CHOIX DES SITES PRIORITAIRES, LES TECHNIQUES UTILISEES ET LEURS IMPACTS POSITIFS ET NEGATIFS SUR LEUR ENVIRONNEMENT IMMEDIAT. *Univ. DES Sci. LA Technol. HOUARI BOUMEDIENE*.